

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2015

Tomáš Kryštof

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

# **VYHODNOCOVÁNÍ PARAMETRŮ AUTOMOBILOVÝCH SVÍTILEN**

Measurements and evaluation  
of front vehicle lamps

2015

Tomáš Kryštof

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Kryštof**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Vyhodnocování parametrů automobilových světlů**  
**Measurements and evaluation of front vehicle lamps**

### Zásady pro vypracování:

1. Automobilové světlomety
  - a. Světelné zdroje
  - b. Usměrnění světelného toku
  - c. Předpisy vztahující se na světlomety
2. Způsoby měření světlometů
3. Měření automobilového světlometu
  - a. Kalibrace měřicí stěny
  - b. Praktická realizace měření vybraného světlometu
  - c. Vyhodnocení měření
4. Kvantifikace chyb měření
  - a. Návrh omezení vlivu chyb v měřicím procesu

### Seznam doporučené odborné literatury:

- E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.47, Předpis 48: JEDNOTNÁ USTANOVENÍ PRO HOMOLOGACI VOZIDEL Z HLEDISKA MONTÁŽE, ZAŘÍZENÍ PRO OSVĚTLENÍ A SVĚTELNOU SIGNALIZACI, rok vydání 2011.
- SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. Světelná technika. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- Jakub Vjaclovský, Měření úhlového rozptylu odraženého a propuštěného světla, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO OLOMOUČ, Katedra optiky, DIPLOMOVÁ PRÁCE, 2010.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

**Čestné prohlášení studenta:**

*„Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu, ze kterých jsem čerpal.“*

V Ostravě ..... 6.5. 2015

..... 

Bc. Tomáš Kryštof

**Poděkování:**

Rád bych na tomto místě poděkoval prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. za velmi dobré vedení a ochotný přístup při tvorbě této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Zbyňku Carbolovi za uvedení do problematiky měření automobilových světlometů a jeho věcné rady. Velký dík patří také rodině, která mě v průběhu studia vždy podporovala v maximální možné míře.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá tématem vyhodnocování parametrů automobilových světlů z hlediska fotometrie. První část obsahuje rozbor současně používaných technologií v předních světlometech a dále výčet předpisů a norem na ně aplikované. Druhá část vymezuje technologie měření předních světlometů s ohledem na měření jasovým analyzátozem. Ve třetí části je provedeno praktické měření předních potkávacích světlometů a jejich vyhodnocení. Čtvrtá část kvantifikuje chyby v měřicím procesu z předchozího bodu a navrhuje kroky k jejich omezení.

## **Klíčová slova**

světlo, světlomet, jas, svítivost, nepřímé měření, vzdálené pole, LMK, automobil, rozhraní, jasová mapa, xenon, halogen, potkávací světlomet.

## **Abstract**

The thesis is dealing with a theme of measurements and evaluation of front vehicle lamps from the photometry point of view. The first part analyzes nowadays use technology in the front vehicle lamps field and includes the relating standards. The second part defines technology of the lamp measurements with a specialization on indirect method with application of digital camera. In the third part the measurement and evaluation of low beam is described. Final part identify a measurement errors during the measurement and suggest a solution for minimize those.

## **Key words**

light, headlamp, luminance map, intensity, indirect measurements, far field, LMK, car, vehicle, cutoff, LID, xenon, halogen, low beam.

# Seznam použitých zkratk a symbolů:

<i>Zkratka</i>	<i>Popis</i>	<i>Jednotka</i>
<i>A</i>	plocha	[m <sup>2</sup> ]
<i>E</i>	osvětlenost	[lx]
<i>L</i>	jas	[cd.m <sup>-2</sup> ]
<i>I</i>	svítivost	[cd]
<i>I<sub>M</sub></i>	maximální svítivost	[cd]
<i>M</i>	světlení	[lm.m <sup>-2</sup> ]
<i>φ</i>	světelný tok	[lm]
<i>ρ</i>	koeficient odrazu	[-]
<i>λ</i>	vlnová délka	[nm]
<i>V(λ)</i>	křivka fotopického vidění	[-]
<i>r</i>	poloměr	[m]
<i>U</i>	napětí	[V]
<i>I</i>	proud	[A]
<i>AEB</i>	Auto Exposure Bracketing	
<i>AFS</i>	Adaptive Fronlighting System	
<i>aj.</i>	a jiné	
<i>CCD</i>	Charge Coupled Device	
<i>CMOS</i>	Complementary Metal-Oxide Semiconductor	
<i>ČR</i>	Česká republika	
<i>ČSN</i>	Česká Státní Norma	
<i>DMD</i>	Micro-Mirror Device	
<i>EHK</i>	Evropská Hospodářská Komise	
<i>EN</i>	Evropské Nařízení	
<i>HID</i>	High Intensive Discharge	
<i>IR</i>	Infračervené Záření	
<i>ISO</i>	citlivost	
<i>L,R,U,D</i>	left, right, up, down	
<i>LED</i>	Light Emitting Diod	
<i>např.</i>	například	
<i>OLED</i>	Organic Light Emitting Diod	
<i>OSN</i>	Organizace Spojených Národů	
<i>PN</i>	positive negative	
<i>RAW</i>	z anglického: raw (syrový)	

<i>SAE</i>	Society of Automotive Engineers
<i>ozn.</i>	to znamená
$u_A$	dílčí nejistota typu A
$u_B$	dílčí nejistota typu B
<i>UV</i>	ultrafialové záření
<i>VŠB</i>	Vysoká škola báňská

Poznámka: Všechny ostatní symboly a zkratky se v textu vyskytují s jejich okamžitým vysvětlením.



# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>1 Automobilové světlomety.....</b>	<b>11</b>
1.1 Základní rozdělení:.....	11
1.2 Světelné zdroje.....	12
1.3 Usměrnění světelného toku.....	17
1.4 Předpisy vztahující se na světlomety.....	20
1.5 Světelně technické vlastnosti světlometů.....	24
1.6 Minimální požadavky na postupy kontroly shodnosti výroby.....	26
<b>2 Způsoby měření světlometů.....</b>	<b>27</b>
2.1 Základní světelné veličiny.....	27
2.2 Křivky svítivosti.....	29
2.3 Fotometrie.....	31
2.4 Měření křivek svítivosti.....	33
2.5 Princip jasového analyzátoru.....	37
2.6 Jasové rozsahy digitálního fotoaparátu.....	38
<b>3 Měření automobilového světlometu.....</b>	<b>40</b>
3.1 Nastavení jasového analyzátoru.....	40
3.2 Kalibrace měřicí stěny.....	41
3.3 Aplikace sférického systému.....	44
3.4 Zaměření světlometu.....	45
3.5 Praktické měření křivek svítivosti potkávacího světlometu.....	46
3.6 Postup vyhodnocení měření.....	52
3.7 Vyhodnocení.....	52
<b>4 Kvantifikace chyb měření.....</b>	<b>53</b>
4.1 Nejistoty měření.....	53
4.2 Nejistota měřících přístrojů v průběhu měření.....	54
4.3 Další možné příčiny chyb v měřícím procesu.....	59
4.4 Návrh omezení vlivu chyb v měřícím procesu.....	60
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>61</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>62</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>64</b>

## ÚVOD

Automobilová výroba je dynamický a stále se rozvíjející druh průmyslu. Nenajdeme mnoho takových produktů jako je automobil, jehož finální výroba závisí na řetězci technologií z tolika různých druhů odvětví. Mnoho z nich je navíc provázáno spleťtým systémem spojitostí. Kategorie automobilového osvětlení je záležitostí zejména bezpečnosti a komfortu. Je zjevné, že bez automobilových světlometů a svítlen by nebylo možné vidět a být viděn. Na druhou stranu špatně navržený světlomet či svítlna, můžou být stejně nebezpečné jako žádné.

Abychom se nesetkávali se světlomety a svítilnami, které negativně ovlivňují bezpečnost a komfort při řízení motorových vozidel je nutné světlomety či svítilny správně navrhnout a verifikovat. Předpisy pro kategorii automobilových světel se zabývá Evropská hospodářská komise při OSN. Vydáváním aktualizací těchto předpisů se snaží plynule reagovat na stále další inovace výrobců automobilových světlometů sloužících ke zvýšení komfortu a bezpečnosti. Namátkou zmíníme technologie jako pixelové světlomety či laser diody. Výčet technologií a zdrojů světla používaných v dnešních předních světlometech je součástí této diplomové práce.

Vývoj a výroba světlometů si vyžaduje také metody na jejich rychlé a přesné ověření. Technologie měření předních světlometů nepřímou metodou pomocí jasového analyzátoru, zajisté patří k těm, co přinášejí zrychlení a zjednodušení. Namísto zdlouhavého měření osvětlenosti na goniofotometru, nabízí nepřímá metoda vytvoření jasové mapy na základě fotografie pořízené kalibrovaným fotoaparátem. Proces vytvoření a vyhodnocení parametrů světlometu tak může trvat doslova pár sekund. Možnosti aplikace této technologie měření předních světlometů za využití měřicí stěny ve školních prostorách těžkých laboratoří HARD, je úkolem této práce. Stanovuje si za cíl určit technologický postup měření a vyhodnocení předních potkávacích světlometů dle předpisu R112 za využití této nepřímé metody, s ohledem na požadavky pro shodnost výroby. Součástí práce je také kvantifikace chyb vzniklých v měřicím procesu a návrh na jejich omezení. V návaznosti na vytvoření postupu měření bude zpracována laboratorní úloha, pro využití v hodinách Provozování osvětlovacích soustav. Úloha uvede studenty do problematiky automobilových světlometů a zároveň je naučí práci s digitálním jasovým analyzátozem.

# 1 AUTOMOBILOVÉ SVĚTLOMETY

## 1.1 Základní rozdělení:

Dle účelu:

- Světloomet – je zařízení konstruované k osvětlení vozovky
- Svítlna – je zařízení konstruované k vysílání světelného signálu ostatním uživatelům vozovky
- Odrazky – znamená zařízení, užívané k označování přítomnosti vozidla odrazem světla, vyzařovaného zdrojem světla nespojeným s tímto vozidlem, přičemž pozorovatel je v blízkosti tohoto světelného zdroje

Dle funkce:

- Potkávací světloomet – znamená světloomet, užívaný k osvětlení vozovky před vozidlem, aniž by nepatřičně oslňoval nebo obtěžoval řidiče, přijíždějící z opačného směru nebo jiné uživatele vozovky
- Dálkový světloomet – znamená světloomet, užívaný k osvětlování vozovky na velkou vzdálenost před vozidlem
- Přední světloomet do mlhy – znamená světloomet zlepšující osvětlení vozovky před vozidlem za mlhy nebo jakýchkoliv podobných podmínek, které snižují viditelnost
- Rohový světloomet – znamená světloomet, který se užívá pro zajištění doplňujícího osvětlení té části silnice, která je v blízkosti předního okraje vozidla na té jeho straně, na kterou se vozidlo bude stáčet.
- Denní svítlna – znamená svítlnu, která směřuje dopředu a která činí vozidlo snadněji viditelné za jízdy ve dne [1]

### Hlavní světloomet

Konstrukce hlavního světloometu podléhá typu zvoleného světelného zdroje, avšak každý světloomet se skládá ze tří základních částí.

- Plášť – složen z pouzdra a krycího skla. Pouzdro zastává funkci nosného prvku celého světloometu, zajišťuje pevné a neměnné spojení dílčích částí světloometu. Výroba probíhá vysokotlakým vstřikem plastu (PP-T40 nebo PP-GF20) do formy.
- Krycí sklo je vyráběno z polykarbonátu a je opatřeno ochranným lakem proti poškrábání a UV filtrem pro zabránění degradace (např. Žloutnutí) skla či vnitřních částí světloometu. Propojení skla s pouzdem se zpravidla zajišťuje lepidlem nebo vhodnými mechanickými úchyty. Spojení musí zajistit ochranu před vnikem vody dovnitř světloometu.
- Světelně funkční součásti – prvky ovlivňující výsledný světelný výstup ze světloometu. Zajišťují

tvar, intenzitu či směřování světelného kužele. Řadíme zde reflektory, refraktory, čočky a světelné zdroje.

- Dekorační součásti – designové prvky světloometu, ovlivňující pouze výsledný vzhled. Patří zde různé rámečky, tubusy či dekorativní lišty. [24]

## 1.2 Světelné zdroje

### Klasická žárovka

Znamená zdroj světla, kde elementem viditelného vyzařování je jedno nebo více žhavených vláken, která vyzařují teplo. Vláknko z wolframu je umístěno ve skleněné baňce, upevněné na patici lišící se dle typu žárovky. Vnitřní atmosféra je za účelem snížení emise materiálu z vlákna plněná směsí dusíku s argonem či jiným netečným plynem (např. Krypton).

Základní parametry žárovek:

- příkon 2-40 W,
- světelný tok 500 lm,
- měrný výkon 13 lm/W,
- teplota chromatičnosti 3500 K,
- životnost 1000 h.

Žárovky jsou v automobilovém průmyslu stále široce využívány jak pro vnitřní tak i vnější aplikace, zejména pro svítidly. Hlavní předností jsou nízké náklady na výrobu. V budoucnu se však počítá s jejich kompletním nahrazením osvětlovacím systémem LED. [27]

### Halogenová žárovka

Halogenové žárovky pracují na podobném principu jako žárovky klasické. Rozdíl spočívá v plynné atmosféře uvnitř baňky, která je tvořena směsí plynu s obsahem halových prvků (bromem či metyl bromidem). Ta zajišťuje tzv. Halogenový cyklus, jenž prodlužuje její životnost. Princip spočívá v zadržení odpařených atomů wolframu v halogenovém plynu a následný návrat zpět na vlákno. Vláken uvnitř žárovky může být podle typu jedno či dvě tzn. žárovka může zastávat sdruženou funkci potkavacích a dálkových světel. Halogenové žárovky se vyznačují dvakrát vyšší svítivostí při stejném příkonu, delší životností a menší velikostí.

Základní parametry halogenových žárovek:

- příkon 55-65 W,
- světelný tok 1500-1860 lm,
- měrný výkon 26 lm/W,
- teplota chromatičnosti 2900-3100 K,
- životnost 400-550 hod (až 3000 h pro long-life zdroje).



*Obr. 1: Halogenová žárovka H4 [21]*

Mezi žárovky generačně starší halogenové žárovky řadíme typy H1, H3 a H4. Poslední jmenovaná má široké využití díky dvouvláknové technologii umožňující funkci potkávacích a dálkových světel za použití jednoho zdroje. Zástupce mladší generace rodiny H-čkových žárovek určené zejména pro reflektorové světlomety jsou H7, H8, H9, H11, HB3 a HB4. Z této generace patří k nejvýznamnějším žárovka H7, která má díky přesnému nastavení polohy vlákna zvýšenou hodnotu jasů o 25% při snížení výkonu v řádu wattů. Aplikace dalších zástupců této rodiny se nachází v mlhových světlometech (H8), dálkových světlech (H9) a světlech potkávacích (H11). [27]

### **Výbojky-Xenonová výbojka (HID-High Intensive Discharge)**

Nejvýznamnějším zástupcem výbojek v automobilovém osvětlení je xenonová výbojka. Výbojka neobsahuje žhavicí vlákno, světlo vzniká v řízeném výboji mezi dvěma elektrodami. Trubice s křemičitého skla je plněna směsí xenonu a metalických solí. Zažehnutí výboje vzniká vysokonapětovým (cca 27 kV) impulzem ze startovacího modulu, který spolu s řídicí jednotkou tvoří podpůrné funkce tohoto systému. Výbojka dosahuje provozní teploty během několika stovek milisekund, kdy se následně její příkon reguluje na hodnotu 35 W, přičemž pracovní teplota hořáku je 700 °C. Při této teplotě dochází ke štěpení atomu halogenu a příslušného kovu, který se vybudí a září. Náhradní teplota chromatičnosti výbojek je zpravidla 4100 K. Tato teplota nedosahuje kvality denního světla (5200 K), avšak dosahuje lepších výsledků než halogenové zdroje (3200 K). Xenonové výbojky se svými 3000 lm mají ve srovnání s halogenovou žárovkou více než dvojnásobný světelný tok, při stejném výkonu, šestkrát delší životnost (cca 3000 h) a lepší rozptyl světla před vozem.

Základní parametry xenonových výbojek:

- příkon 35 W,
- světelný tok 2400-3200 lm,
- měrný výkon 80-89 lm/W,
- teplota chromatičnosti 6000 K,
- životnost <3000 hod.



*Obr. 2: Xenonová výbojka DIS [20]*

Dle předpisů vozidlo se systémem xenonových světlometů musí být také vybaveno automatickým nastavováním sklonu světlometů a z důvodu chlazení také jejich ostřikovačem. [1,27]

### **LED (Light Emitting Diode)**

LED diody se řadí ke světelným zdrojům, avšak princip vzniku světla je založen na zcela jiném principu než u dříve jmenovaných. Světlo vzniká průchodem proudu P-N přechodem, kdy rekombinací elektronu a díry ve valenčním pásmu je uvolněna energie ve formě fotonu. Vlnová délka záření se liší dle druhu použitého polovodiče. Polovodiče pro LED dělíme na anorganické a organické. Zástupce anorganických diod reprezentují sloučeniny GaAS, GaN, InGaN. Diody na organické bázi označujeme OLED.

Pro aplikace ve světlometech se využívá řetězení více LED. Rychlý vývoj v dané oblasti však nabízí aplikace založené na jednom velkém čipu. Jeden z nejnovějších úspěchů zaznamenala firma OSRAM, kdy v laboratorních podmínkách odzkoušela čip o velikosti 30×50 mm a světelném toku 1400 lm.

Základní parametry LED (pro rozměr čipu 6,6×2,0 mm řada 5 čipů):

- příkon 14 W,
- světelný tok 1800 lm,
- měrný výkon 128 lm.W<sup>-1</sup>,
- dlouhá životnost 50 000 h. [12]

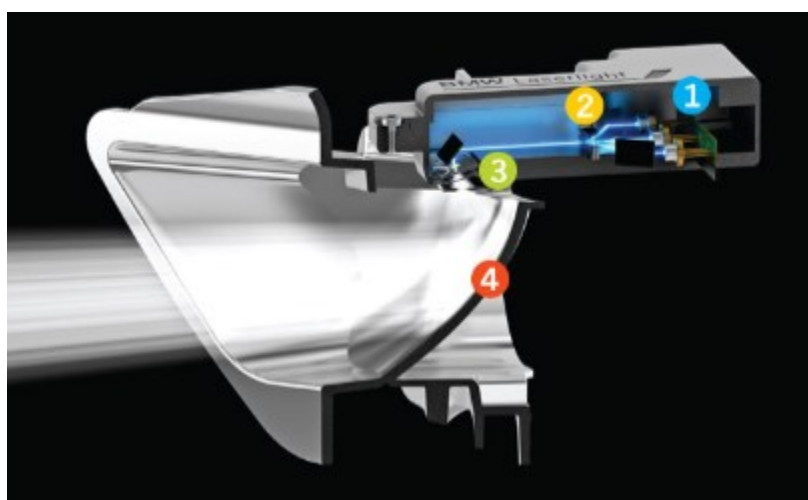
Mezi další výhody LED patří například velmi malé rozměry a hmotnost (jedná se prakticky o bodové zdroje), malá závislost parametrů na teplotě okolí, široký sortiment výrazných (syťých) barev, nízké provozní napětí a nízká povrchová teplota.

Největším nevýhodou LED je v současnosti odvod tepla z oblasti PN přechodu. Z tohoto důvodu se pohybují jednotlivé zdroje v oblasti příkonů jednotek wattů. S nárůstem tepla na PN přechodu dochází k poklesu světelného toku a životnosti. Naproti tomu mají LED proti klasickým světelným zdrojům nezanedbatelné výhody v jednodušším směřování a rychlejším náběhu světelného toku, mechanické

odolnosti a nezávislosti životnosti na spínání a stmívání. K napájení se používá malé stejnosměrné napětí. LED se kvůli své Volt-Ampérové (VA) charakteristice řídí proudem.

### **Laser Diody**

Největší novinkou v automobilovém osvětlení je použití laserové technologie pro přední světlomety. První automobilkou na trhu, jenž představila světlomety s laser diodami bylo BMW (model i8) ve spolupráci s firmou OSRAM. Laser prozatím zastává funkci pouze dálkových světel, kde dosahuje až dvakrát lepších výsledků než současné LED systémy a osvětlí vozovku na vzdálenost 600m. K tomu navíc přidává 30% úsporu na energii, desetkrát menší rozměr a nižší hmotnost. Tyto vlastnosti otevírají designerům úplně nové možnosti v koncepci předních světlometů. Světlo vycházející ze světlometu dosahuje náhradní teploty chromatičnosti 6000K, nabývá tedy kvalit denního světla. Všechny vylepšení přinášející tato technologie má za cíl zvýšit bezpečnost a komfort uživatele.[26]



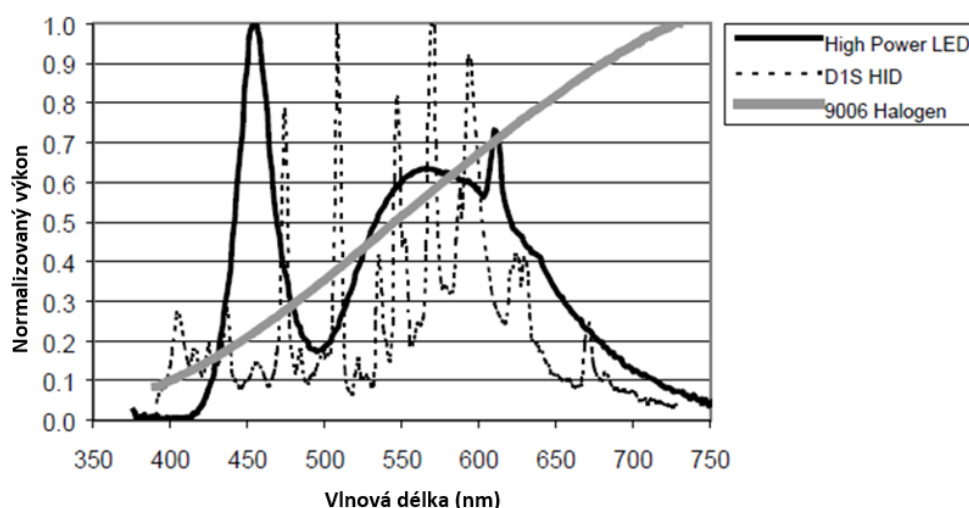
*Obr. 3: 1. Laserový paprsek modrého světla je tvořen skupinou tří laserových diod. 2. Paprsky jsou směřovány skrze hranol a zaostřeny do jednoho paprsku. 3. Koncentrovaný paprsek prochází čočkou s obsahem fosforu, kde se mění na rozptýlené bílé světlo, které je bezpečnější pro lidské oko. 4. Bílé světlo se odrazí od reflektoru a prochází čirou čočkou směrem na silnici.[25]*

### Porovnání zdrojů:

Pro vhodný výběr světelného zdroje je nezbytné porovnání výhod a nevýhod jednotlivých typů. Porovnáním tří základních světelných zdrojů:

Tab. 1: Porovnání světelných zdrojů

	<i>HALOGEN</i>	<i>HID</i>	<i>LED</i>
<i>Příkon:</i>	65 W	35 W	5 W
<i>Světelný tok:</i>	1860 lm	3200 lm	125 lm
<i>Měrný výkon:</i>	26 lm/W	89 lm/W	25 lm/W
<i>Životnost:</i>	až 3000 h	až 3000 h	až 50000 h
<i>Výhody:</i>	nízké výrobní náklady jednoduchá konstrukce různé rozměry	světelný tok měrný výkon delší životnost než halogen spektrum	malý rozměr spotřeba
<i>Nevýhody:</i>	energeticky náročné	cena složitost systému pomalý náběh	výrobní cena produkce tepla potřeba více zdrojů



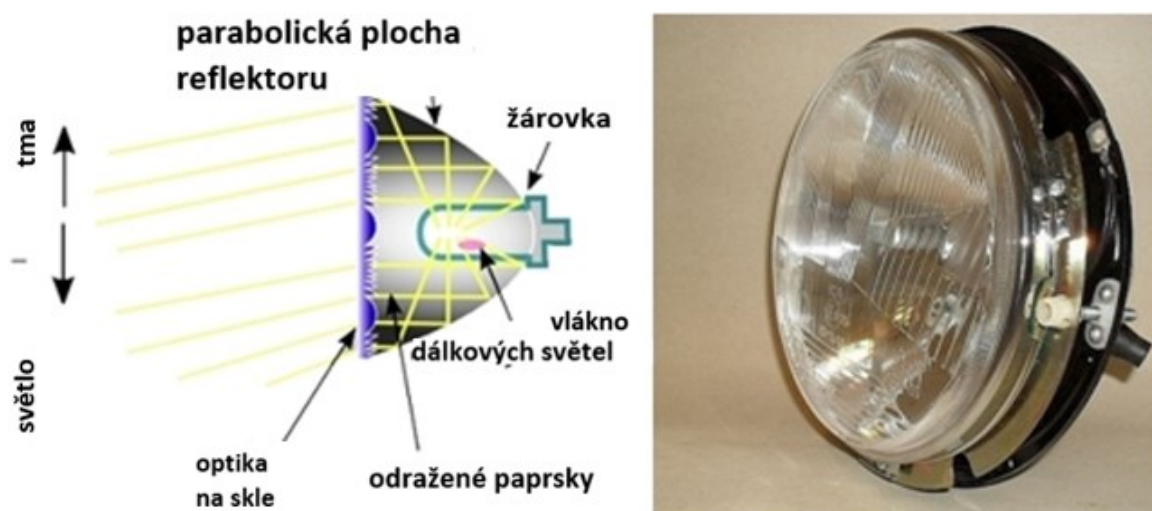
Obr. 4: Porovnání spektra zdrojů bílého světla používaných ve světlometech [12]



### 1.3 Usměrnění světelného toku

#### Parabolický reflektor s optikou na skle

Jedná se o nejzákladnější technologii pro výrobu předních světlometů, dnes používanou výhradně těmi nejlevnějšími výrobci na trhu. Odraz světla je založen na principu paraboloidního zrcadla. Zrcadlo má pravidelný tvar a zdroj je zpravidla umístěn v blízkosti ohniska. Výsledný vyprojektovaný paprsek je paralelní a dopadá na optiku tvořící výstupní část světlometu. Odrazné plochy s malou ohniskovou vzdáleností poskytují rovnoměrné osvětlení před vozidlem, zatímco plochy s velkou ohniskovou vzdáleností směřují světlo do větší vzdálenosti. Toho je využíváno u vícevláknových zdrojů.



Obr. 5: Parabolický reflektor s optikou na skle [22]

Distribuce paprsků na vozovku je podmíněna tvarem optiky a řídí se zákonem lomu. Krycí sklo je rozděleno do několika polí s rozličnými dezény, jako jsou klíny, válcové čočky a jejich kombinace. Toto zajišťuje distribuci světla tak, aby odpovídalo normě a neoslňovalo ostatní účastníky silničního provozu. Svislý válcový profil slouží pro horizontální rozdělení světla a prizmatická struktura ve výši optické osy zajišťuje posun světla pro asymetrické osvětlení vozovky. Materiál reflektoru je zpravidla pochromovaný plech či u novějších typů je stále více využíváno plastů s kovovou folií.[12,29]

#### Reflektorová optika-fazetové a free-form systémy

Reflektorová optika využívá k distribuci světla systém odrazových ploch (nepravidelný tvar reflektoru). Světlo je směřováno přímo reflektorem. Každá světelně účinná část neboli fazeta odráží světlo do určité oblasti vozovky. Přední část světlometu tvoří čiré sklo (plast) a plní pouze ochrannou funkci. Čirá optika má vyšší účinnost a umožňuje volnější práci s jejím tvarem, neboť nemá žádnou optickou funkci. [12]



Obr. 6: Free-form reflektor [22]

### Projektorová optika

Projektorové světlomety jsou navrhovány na produkci silného zaostřeného světelného paprsku do vymezeného prostoru. Konstrukce umožňuje vytvářet světlomety o malých rozměrech s vysokým světelným výkonem. Poskytují velice přesné rozložení světla s nízkým rozptylem. Paprsek tvoří křehkou linii pod jejíž hranicí poskytuje velmi dobré osvětlení veškerých objektů. Zdroj světla je umístěn v eliptickém reflektoru na zadní stěně světlometu. Ostřicí čočka se nachází v jeho přední části. Mezi zdrojem a čočkou najdeme clonku zajišťující lom světla ze zdroje. Pro použití v běžných světlometech je clonka nepohyblivá a pro funkci potkávacích a dálkových světel je využito kombinace xenonových a HID světel. [12,29]



Obr. 7: Projektorový světlomet [22]

### Bi-Xenonon

Na rozdíl od běžných světlometů kde xenonová výbojka zastává pouze funkci potkávacích světel a pro světla dálková je použita halogenová žárovka, u bi-xenonových světlometů tuto funkci zastává jeden zdroj. Použití najdeme zejména v projektorových světlometech, přičemž funkce potkávacích a dálkových světel je řízena clonkou. Jejím pohybem či změnou tvaru lze řídit tvar kužele promítaného na cestu. Další možností je pohyb zdroje světla ve vertikální rovině, čímž docílíme stejného efektu. [12]

## **Adaptivní světlomety**

Adaptivní světlomety AFS (Adaptive Frontlighting System) či AFL (Adaptive Forward Lighting) přinášejí uživateli mnohem větší komfort při řízení a zároveň zvyšují bezpečnost. Přizpůsobují svoji funkci vnějšímu prostředí a stylu jízdy tak, aby měl řidič vždy a za každých okolností nejlepší světelné podmínky.

Povoleny byly úpravou předpisu ECE R48, jež vstoupila v platnost 31. ledna 2003. U adaptivních světlometů rozlišujeme statické a dynamické provedení. Dynamické světlomety v zatáčkách plynule pohybují světelným kuželem a umožňují natočení hlavního světelného kužele až o 15°. Statické světlomety neumožňují pohyb hlavním kuželem, avšak pro přisvícení prostoru pro odbočení v nízkých rychlostech zapínají přídatné odbočovací světlo „CORNER light“. Dynamické světlomety mohou kombinovat obě tyto funkce. Pro správné zvolení osvětlovacího režimu musí elektronika světlometů trvale vyhodnocovat mnoho parametrů, jako:

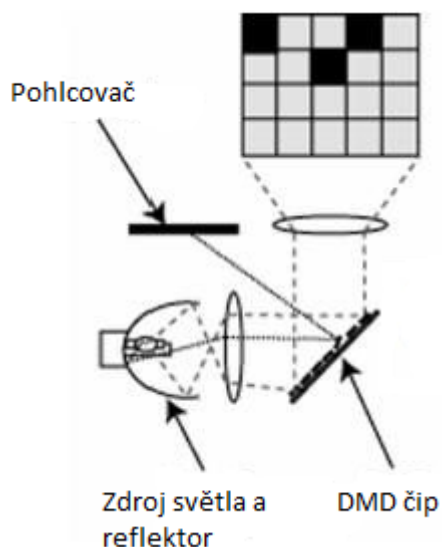
- rychlost jízdy,
- úhel natočení volantu,
- zapnutí směrových světel,
- venkovní světelné podmínky (město, tunel, venkov),
- provoz (protijedoucí vozidla, vpředu jedoucí vozidla),
- údaje navigace.

Na základě těchto údajů aktivuje vhodnou funkci. Dynamické světlomety novější generace již polohují paprsek ve dvou osách. Ve vyšších rychlostech (např.: mimo město) naklápějí modul ve vertikální rovině a směřují kužel potkávacích světel do větší vzdálenosti avšak vždy tak, aby nedošlo k oslnění ostatních účastníků silničního provozu. V městském provozu do 50 km.h<sup>-1</sup> vzniká potřeba osvětlení míst ležící kolmo ke směru jízdy, jako jsou křižovatky, boční uličky, chodníky apod. Světelný kužel je proto směřován blíže k vozidlu a tím dosáhne požadované šířky. Za nepříznivého počasí eliminují adaptivní světlomety nepříjemné odlesky od vozovky nasměrováním kužele k okraji vozovky, uleví tak řidiči a zlepší osvětlení míst s potenciálním nebezpečím výskytu osob či jiných překážek. [12]

## **Pixelové světlomety**

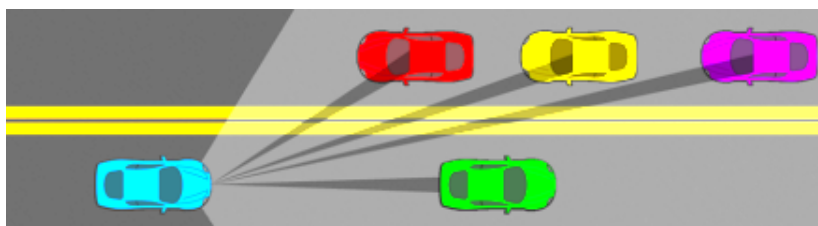
Významným pokrok vpřed ve vývoji světelné techniky dopravních prostředků udělala firma BMW při vývoji pixelových světlometů. Jádrem světlometu tvoří digitální mikro-zrcadlové zařízení (DMD-Digital Micro-mirror Device), tedy čip nesoucí 480 tisíc mikroskopických zrcadel velikosti 20 x 20 μm. Každé jednotlivé zrcadlo reprezentuje jeden pixel a je individuálně řízeno a natáčeno. Změna povahy pixelu odraz-pohlčení se koná v rámci několika μs.

Světlo ze zdroje je soustředěno a jako homogenní paprsek je projektováno na DMD čip. Jednotlivé pixely odpovídají oblastem na vozovce. Osvětlenost jednotlivých oblastí je řízena stavem jednotlivých pixelů. Pixely mohou nabývat dvou stavů. V primárním stavu odráží světlo ve směru natočení, ve vypnutém stavu světlo odráží směrem na pohlcovač. Pulsně-šířkovou modulací lze docílit regulace intenzity osvětlení.



Obr. 8: Schéma pixelového světlometu [14]

Pixelové světlomety přináší množství zcela nových funkcí, jako je například trvale využitelný neoslňující dálkový světlomet, u něhož je oblast ve výši očí protijedoucích řidičů ztmavena, nebo zvlášť jasné a cílené osvětlení dopravního značení. Dále lze na vozovku před vozidlem promítat pokyny navigace či jiná další upozornění týkající se provozu či stavu vozovky a povětrnostních podmínek. [13]



Obr. 9: Funkce pixelových světlometů

## 1.4 Předpisy vztahující se na světlomety

### Předpisy a normy

Legislativa dopravních prostředků je součástí předpisů a regulí na národní i mezinárodní úrovni. Jednotlivé předpisy na různých úrovních se nesmí vzájemně vylučovat, což vede ke celosvětové unifikaci. Na území ČR spadá oblast legislativy dopravních prostředků do kompetence Ministerstva dopravy.

Evropské hospodářské komise (EHK či ECE- anglicky) při Organizaci spojených národů (OSN) a Evropské hospodářské společenství (EHS či ES) řeší komplexní problematiku předpisů pro automobily na mezinárodní úrovni. Oblast technických norem u dopravních prostředků má v kompetenci Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO).

Dohoda o přijetí jednotných podmínek pro homologaci a o vzájemném uznávání homologace výstroje a součástí motorových vozidel, byla sjednaná v Ženevě dne 20. března 1958 (proto někdy nazvané „Dohoda roku 58“). Dohoda byla vydána EHK při OSN. Jedná se o předpisy nesoucí oficiální

název „Jednotná ustanovení pro homologaci...( a následuje specifikace součásti či příslušenství který se daný předpis vztahuje). Od vydání dokumentů došlo k přijetí tohoto předpisu v naprosté většině evropských států a jsou přijímány i zeměmi mimo Evropu.

Ve Spojených státech amerických řeší oblast osvětlení dopravních prostředků federálním zákon „Federal motor vehicle safety standard“ (označovaným také FMVSS 108). Tento zákon se pro konkrétní světelné funkce může odvolávat na normy Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE). Normy SAE však mají jen doporučující charakter. V některých, např. konstrukčních detailech navíc nabízejí i více řešení nebo způsobů řešení. [8,9.23]

### **EHK předpisy**

Obsah mezinárodně platných předpisu Evropské hospodářské komise při OSN pro dopravní prostředky je dělený do tří základních skupin:

- součásti pro aktivní bezpečnost,
- součásti pro pasivní bezpečnost,
- součásti pro ochranu životního prostředí.

Většina předpisů týkajících se osvětlení automobilu náleží do skupiny pro aktivní bezpečnost, např.:

- EHK 8 – světlomety H1,H2,H3,
- EHK 19 – přední mlhové světlomety,
- EHK 20 – světlomety s žárovkou H4,
- EHK 38 – zadní mlhovka,
- EHK 48 – jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska montáže zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci,
- EHK 98 – výbojkové zdroje světla,
- EHK 112 – světlomety motorových vozidel, které vyzařují asymetrické potkávací světlo nebo dálkové světlo.

Další předpisy spadají do oblasti pro pasivní bezpečnost, např.:

- EHK 4 – osvětlení zadní poznávací značky. [23]

### **Předpisy pro potkávací světlomet**

Montáž: Povinný na automobilech, zakázaný u přípojných vozidel.

Počet: dva.

Barva: bílá.

Uspořádání (schéma montáže): nepředepisuje se.

Umístění:

- na šířku: okraj svítícího povrchu, nejvíce vzdálený od podélné střední roviny vozidla, nesmí být od nejvzdálenějšího vnějšího okraje vozidla vzdálen více než 400 mm. Vnitřní okraje svítícího povrchu musí být od sebe vzdáleny nejméně 600 mm.

- na výšku: nejméně 500 mm a nejvýše 1200 mm nad zemí.
- na délku: na přední části vozidla se tato podmínka považuje za splněnou, jestliže vyzařované světlo neobtěžuje řidiče ani přímo, ani nepřímo přes zpětná zrcátka nebo jiné plochy na vozidle, odrážející světlo, případně přes obojí.

Geometrická viditelnost:

- Viditelnost je určena úhly  $\alpha$  a  $\beta$ :
  - $\alpha = 15^\circ$  směrem nahoru a  $10^\circ$  směrem dolů
  - $\beta = 45^\circ$  směrem ven a  $10^\circ$  směrem dovnitř

Orientace:

- vertikální orientace: (změna sklonu) svazku potkávacích paprsků se měří za statických podmínek a za všech podmínek naložení vozidla. Svislá orientace potkávacích paprsků musí ležet mezi 0,5% a za 2,5% směrem dolů, bez ručního seřízení, počáteční svislá orientace směrem dolů má být seřizena mezi 1% a 1,5% při nenaloženém vozidle, tj. při pohotovostní hmotnosti a s jednou osobou na místě řidiče. Počáteční seřízení u každého typu vozidla musí být zřetelně specifikováno výrobcem vozidla a musí být uvedeno na štítku každého vozidla.
- horizontální orientace: Horizontální směřování jednoho nebo obou potkávacích světlometů se může měnit tak, aby světlomet (světlomety) vytvářel osvětlení zatáčky za předpokladu, že celé světlo nebo zlom světelného rozhraní neprotne čáru dráhy těžiště vozidla ve vzdálenosti od předku vozidla, která je větší než stonásobek montážní výšky příslušného potkávacího světlometu

Elektrické zapojení: Ovládací zařízení pro přechod na potkávací světlomet musí vypnout současně všechny dálkové světlomety. Potkávací světlomety mohou zůstat rozsvíceny současně s dálkovými světlomety. Sdělovač „obvod zapojen“ je nepovinný.

Potkávací světlomet může být rozsvícen a zhasínán automaticky.

Kombinace: Může být skupinový s dálkovým světlometem a s ostatními předními světlomety nebo svítilnami. Nesmí být sdružený s žádnou jinou svítilnou. Může být sloučený s dálkovým světlometem, pokud tento není pohyblivý v závislosti na rejdu řízení, a dále s ostatními předními svítilnami.

### **Předpisy pro dálkový světlomet**

Montáž: Povinná na automobilech. Zakázaná na přípojných vozidlech.

Počet: Dva nebo čtyři.

Uspořádání (schéma montáže): Nepředepisuje se.

Umístění:

- na šířku: žádný zvláštní požadavek
- na výšku: žádný zvláštní požadavek
- na délku: na předku vozidla. Požadavky musí být uvažovány tak, aby zajistily, že vyzařované světlo neobtěžuje řidiče ani přímo ani nepřímo přes zařízení pro nepřímou viditelnost (zrcátka) a/nebo jiné plochy na vozidle, odrážející světlo.

Geometrická viditelnost: Viditelnost svítícího povrchu, včetně pásu, která se v uvažovaném směru pozorování nejeví jako osvětlená, musí být zajištěna uvnitř rozbíhajícího se prostoru, ohraničeného přímkami, vycházejícími od obrysu svítícího povrchu a svírajícími se vztažnou osou světlometu úhel nejméně 5°.

Orientace: Směrem dopředu. Nejvýše jeden z dálkových světlometů na každé straně vozidla se může natáčet tak, aby vytvářel osvětlení zatáčky.

Elektrické zapojení: Spínání a vypínání může být ovládáno automaticky, řízeno signály snímačů umožňující reakci na vnější světelné podmínky, osvětlení předními světelnými zařízeními či světelnou signalizací protijedoucích vozidel a světlo vyzařované zadní světelnou signalizací vpředu jedoucích vozidel. Je možné zapínat a vypínat manuálně. Totéž platí pro funkci automatického zapínání a vypínání. Funkce potkávacích světel nemusí být přerušena.

Sdělovač: kontrolka povinná.

Jiné požadavky: Maximální součtová svítivost dálkových světlometů, které mohou být zapnuty současně nesmí překročit 430 000 cd, což odpovídá vztažné hodnotě 100.

### **Předpisy pro přední mlhový světlomet**

Montáž: Nepovinný na automobilech, zakázaný u přípojných vozidel.

Počet: dva.

Barva: bílá.

Uspořádání (schéma montáže): Žádný zvláštní požadavek

Umístění:

- na šířku: okraj přivrácené plochy ve směru vztažné osy, který je nejvzdálenější od podélné střední roviny vozidla, nesmí být od vnějšího obrysu vozidla dále než 400 mm.
- na výšku: nejméně 250 mm nad vozovkou.
- na délku: na předku vozidla. Tato podmínka se považuje za splněnou, jestliže vyzařované světlo neobtěžuje řidiče ani přímo, ani nepřímo přes zařízení pro nepřímý výhled nebo jiné plochy na vozidle, odrážející světlo, případně přes obojí.

Geometrická viditelnost:

- Viditelnost je určena úhly  $\alpha$  a  $\beta$ :
  - $\alpha = 5^\circ$  směrem nahoru a dolů
  - $\beta = 45^\circ$  směrem ven a  $10^\circ$  směrem dovnitř

Orientace:

- vertikální orientace: (změna sklonu) U mlhových světlometů třídy "B" musí být vertikální sklon čáry rozhraní nastaven u nezatíženého vozidla s jednou osobou na sedadle řidiče -1,5 % nebo níže.
- horizontální orientace: Horizontální směřování jednoho nebo obou potkávacích světlometů se může měnit tak, aby světlomet (světlomety) vytvářel osvětlení zatáčky za předpokladu, že celé světlo nebo zlom světelného rozhraní neprotne čáru dráhy těžiště vozidla ve vzdálenosti od předku vozidla, která je větší než stonásobek montážní výšky příslušného potkávacího světlometu

Elektrické zapojení: Pokud nejsou přední mlhové světlomety užívány jako součást jiné osvětlovací funkce zajišťované AFS, musí být možno přední mlhové světlomety rozsvěcovat a zhasínat nezávisle na dálkových světlometech, potkávacích světlometech, nebo jakékoliv kombinaci dálkových a potkávacích světlometů; rozsvícení funkce předních mlhových světlometů má však prioritu nad jakoukoliv jinou funkcí, ke které jsou přední mlhové světlomety využívány jako její část.

Sdělovač: Kontrolka zapojení obvodu povinná. Nezávislé neblinkající varovné světlo. [4]

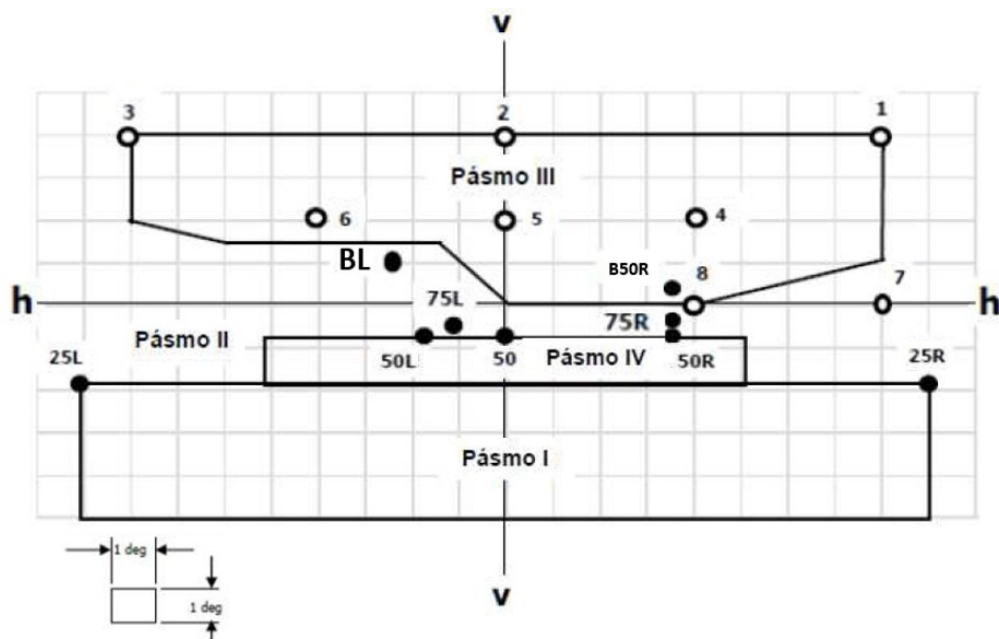
## 1.5 Světelně technické vlastnosti světlometů

Světlomety musí být provedeny tak, aby dávaly dostatečné dobré osvětlení bez oslnění, když vyzařují potkávací světlo a dobré osvětlení když vyzařují dálkové světlo. Rozdělení svítivosti potkávacího světla světlometu musí obsahovat „rozhraní“, které umožní, aby světlomet byl správně nastaven pro fotometrické měření a pro zaměření na vozidle.

Potkávací světlomet podléhá zkoušce světelně technických vlastností, vyhodnocením kvality rozhraní neboli hranice světelné stopy (HDG – Hell-Dunkel Grenze, Cutoff line). Součástí zkoušky může být hodnocení nežádoucích odlesků a průsvitů světla, způsobující nežádoucí oslnění ostatních účastníků provozu. Svítivost světlometu se měří ve vzdálenosti 25 m fotoelektrickým článkem. Měřený světlomet je vybaven zkušební bezbarvou žárovkou (etalon) konstruovanou pro jmenovité napětí 12 V. V případě LED modulů se měří při 6,3 V, 13,2 V nebo 28 V. Světlomet se považuje za vyhovující, jestliže splňuje požadavky alespoň s jednou standardní (etalon) žárovkou, která může být předložena se světlometem.

Světlomet musí být vizuálně zaměřen pomocí „rozhraní“. Zaměření se provádí s využitím svislé projekční stěny umístěné ve vzdálenosti 10 m nebo 25 m před světlometem v pravých úhlech k horizontální a vertikální ose. Projekční stěna musí být dostatečně široká, aby dovolila zkoumání a nastavení "rozhraní" potkávacího světla nejméně o 5° na obě strany kolem V-V přímky. „Rozhraní“ musí poskytovat pro **levostranný provoz** „vodorovnou část“ směrem vpravo a zdviženou část „ohyb - rameno“ směrem vlevo. Pro pravostranný provoz opačně. Ve všech případech musí část „ohyb – rameno“ mít ostrý okraj. Potkávací světlo musí splňovat požadavky na svítivost ve zkušebních bodech zobrazených na *obrázku č.10*.

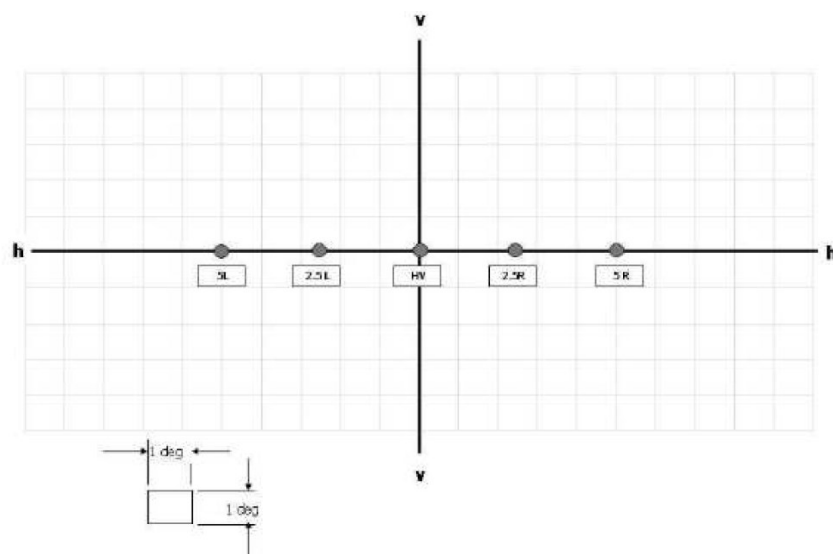




Obr. 10: Zobrazení měřicích bodů-světlomet pro levostranný provoz

V žádném z pásmech I, II, III a IV se nesmějí vyskytovat postranní odchylky škodlivé pro dobrou viditelnost.

Jedná-li se o světlomet konstruovaný jak pro dálkové, tak pro potkávací světlo, měření svítivosti dálkového světla se provede při stejném seřízení světlometu jako při měřeních pro potkávací světlomet. Jedná-li se o světlomet konstruovaný jen pro dálkové světlo, seřídí se tak, aby plocha největší svítivosti byla soustředěna na průsečík čar H-H a V-V; takový světlomet musí vyhovovat pouze požadavkům pro dálkové světlo. Tam, kde se použije více než jeden zdroj světla pro dálkové světlo, použijí se sloučené funkce k určení maximální hodnoty svítivosti ( $I_M$ ). Průsečík (HV) přímek hh a vv musí být uvnitř isoluxy, která představuje 80 % maximální svítivosti ( $I_{max}$ ). Minimální hodnoty svítivosti ostatních bodů jsou dány předpisem pro dálkový světlomet, maximální hodnota svítivosti  $I_{max}$  však nesmí překročit hodnotu 215 000 cd.



Obr. 11: Zkušební body dálkového světla

K dalším zkouškám světelně technických vlastností patří zkoušky tepelné odolnosti a vibrační zkoušky. [5]

## **1.6 Minimální požadavky na postupy kontroly shodnosti výroby**

Požadavky na shodnost výroby se z hlediska mechanického i geometrického považují za uspokojivé, jestliže rozdíly nepřekračují nevyhnutelné výrobní odchylky v rozsahu požadavku předpisu. Tyto podmínky se rovněž aplikují na barvu.

Shodnost hromadně vyráběných světlometů se z hlediska fotometrických vlastností nezpochybní, jestliže se žádná měřená hodnota u náhodně vybraného světlometu neodchyluje od hodnot předepsaných předpisem o více než 20 %.

Pro potkávací světlomet platí, že v bodech B 50 L (nebo R) smí maximální nepříznivá odchylka být 170 cd (odpovídá 20 %), 255 cd (~ 30 %). A v pásmu III 255 cd (~ 20 %), 380 cd (~ 30 %).

Nebo hodnoty stanovené předpisem pro potkávací světlo jsou splněny v bodě HV (s tolerancí + 170 cd) a nejméně v jednom bodě plochy ohraničené kružnicí o poloměru  $0,35^\circ$  okolo bodu B 50 L (nebo R) s tolerancí 85 cd, 75 R (nebo L), 50 V, 25 R, 25 L a v celém pásmu IV, které není více než  $0,52^\circ$  nad přímkou 25 R a 25 L.

U dálkového světla s HV ležícím uvnitř isoluxy 0,75 max je pro fotometrické hodnoty v libovolném měřicím bodě dodržována tolerance +20 % pro maximální hodnoty a -20 % pro minimální hodnoty.

V případě že výsledky výše popsaných zkoušek neplní požadavky, je možno změnit seřízení světlometu za podmínky, že osa světla se bočně nepřemístí o více než  $1^\circ$  vpravo nebo vlevo. [5]

## 2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ SVĚTLOMETŮ

### 2.1 Základní světelné veličiny

#### *Světelný tok $\Phi$*

Světelný tok představuje zářivý tok z objektu emitující světlo svítivostí  $I$ . Tento tok je posuzován vzhledem ke spektrální citlivosti lidského oka (380 až 780 nm). Vyjadřuje kolik energie daný zdroj vyzáří do svého okolí. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Integrací svítivosti přes daný úhel získáme příslušný světelný tok ve výšeči. Pokud integrujeme svítivost přes celý prostorový úhel, výsledkem je světelný tok celého daného objektu.

$$\Phi = K_m \cdot \int_{380}^{780} \Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

$\Phi$  – světelný tok

$K_m$  – maximální světelná účinnost při fotopickém vidění  $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$

$V(\lambda)$  – spektrální světelná citlivost oka při fotopickém vidění

$\lambda$  – vlnová délka

$$\Phi = \int_{\Omega_1} I(\gamma) \cdot d\Omega_1 \quad (2)$$

$I$  – svítivost

$\Omega_1$  – prostorový úhel

#### *Osvětlenost $E$*

Když světelný tok dopadne na plochu, mluvíme pak o osvětlenosti  $E$ . Základní jednotkou je lux (lx). Vyjadřuje tedy hodnotu světelného toku dopadající na jednotkovou plochu ( $1 \text{ m}^2$ ).

$$E = \frac{d\Phi}{dA_2} \quad (3)$$

$E$  – osvětlenost

$A_2$  – osvětlená plocha

V kombinaci s rovnicí pro světelný tok, získáme

$$E = \frac{I(\gamma) \cdot d\Omega_1}{dA_2} \quad (4)$$

#### *Jas*

Jas  $L$  je množství světla s prostorovou a směrovou závislostí.

$$L(x, y, z, \vartheta, \varphi) = \frac{d^2\Phi}{dA_1 \cdot \cos(\vartheta, \varphi) \cdot d\Omega_1} = \frac{dI(\vartheta, \varphi)}{dA_1 \cdot \cos(\vartheta, \varphi)} \quad (5)$$

$L$  – jas  
 $A_1$  – světelná plocha  
 $\cos(\gamma_1)$  – stínící plocha

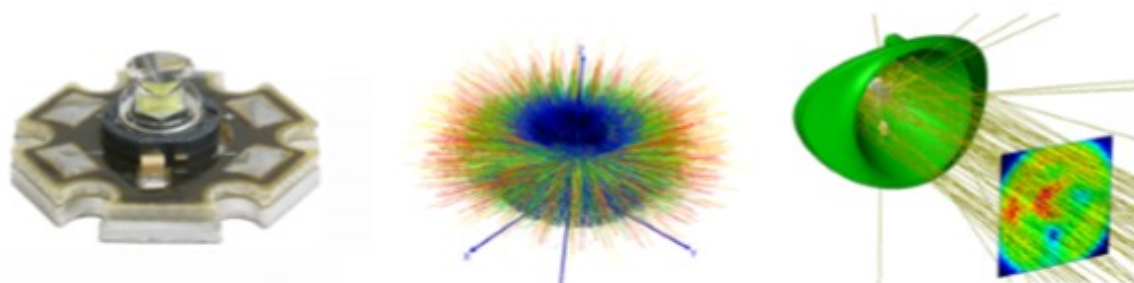
Čím větší je svítivost  $I$  dané plochy, tím větší je její jas  $L$ . Naopak jas  $L$  bude tím větší, čím menší je plocha při zachování konstantní svítivosti  $I$ .

Tak jako zdroje světla jsou v praxi nehomogenní, jejich jas bude kolísat v závislosti na zdroji a úhlem světelného vektoru. Pro dosažení celkového popisu vyzařovací charakteristiky světelného zdroje je nutno zaznamenat výstupní jasovou mapu na reálném či náhradním povrchu ve formě zářivých polí. Hodnota jasu musí být změřena v každém bodě jeho zdroje (např.: na povrchu světla) spolu se směrem, v němž je světlo vyzařováno  $L_e(x, y, z, \vartheta, \varphi)$ . V některých případech lze do oblasti zájmu zahrnout také vlnovou délku  $\lambda$ . Pro vektorový záznam záření se můžeme setkat ne jen se sférickým záznamem, ale také se záznamem v Kartézských souřadnicích.

Zobrazení křivek svítivosti probíhá na základě vektorových polí či prostorových modelů. Pokud integrujeme celkový jas  $L(x, y, z)$  ve vytyčeném směru  $(\vartheta, \varphi)$ , získáme svítivost v daném směru. Touto cestou nalezneme celkové rozložení svítivosti v prostoru.

$$I(\vartheta, \varphi) = \int_{A_1} L(x, y, z, \vartheta, \varphi) \cdot \cos(\vartheta, \varphi) \cdot dA_1 \quad (6)$$

Nalezením integrálu pro celkovou svítivost, získáme celkový světelný tok ze zdroje (rovnice č.2). Hodnoty světelných vektorů je možné zpětně vypočítat pro vlastní reálný povrch či pro povrch náhradní (svou charakteristikou blízký tomu reálnému) a následně získat prostorové rozložení svítivosti. Světelné vektory jsou vždy důležité pro další práci se světlem ze světelného zdroje. Příklad nalezneme při použití jakýchkoliv svítidel. Pro vhodnou volbu optického prvku svítidla (např.: reflektor) ovlivňující jeho výsledné vlastnosti na požadovanou úroveň, je nezbytné provést výpočty zakládající se na světelných vektorech jeho zdroje. *Obrázek č. 12* popisuje danou problematiku: zleva doprava, LED modul, zobrazení světelných vlastností ve formě prostorového rozložení svítivosti, simulace distribuce světelného toku při použití daného svítidla v reflektoru a následná jasová mapa na simulovaném povrchu.



*Obr. 12: Vysoce svítivá LED s prostorovým rozložením svítivosti a příklad simulace [7]*

Na druhou stranu pokud je potřeba nalézt výsledek použití optického prvku na určitou vzdálenost, je obvykle dostačující měřit křivky svítivosti. Na rozdíl od světelných vektorů, křivky svítivosti

neobsahují žádné informace o samotném zdroji světla. Předmět měření je uvažován jako bodový zdroj světla.

Směr světelných paprsků je určen v polárních kulových souřadnicích. Výsledná rovnice je  $I(\vartheta, \varphi)$ . Křivky svítivosti lze vypočítat jednoduše ze světelných vektorů jednoduchým sečtením těch mířících stejným směrem. Na druhou stranu je možné je rozdělit na přímé a nepřímé měření a nalézt tak svítivost pro různé směry. Touto metodu využíváme pouze tehdy, je-li zdroj záření dostatečně vzdálený a lze jej tedy považovat za bodový zdroj.

Zjednodušíme-li reálný zdroj na bodový, vznikne v daném měření chyba. Tato chyba klesá se vzdáleností zdroje. Hranice kdy chybu lze považovat za zanedbatelnou se nazývá hraniční fotometrická vzdálenost. Vztah mezi vzdáleností a chybou je závislý na velikosti světelného zdroje, složitosti směrového vyzařování a velikosti povolené chyby. Pro jednoduché zdroje, jako například světlo s homogenní vyzařovací charakteristikou je vztah poměrně jednoduše řešitelný. Chyba klesá pod 1%, je-li vzdálenost minimálně 10-krát větší než největší rozměr zdroje. Pokud je vyzařovací charakteristika více soustředěná jako například u automobilových světlometů, předpokládá se automaticky, že vzdálenost zdroje musí být poměrně velká. Vzdálenost pro měření v takovém případě je obecně nastavena na minimum 10m. Pro případy oficiálních měření v souladu s normou pak 25m. Protože ve většině případů je paprsek světlometu vyzařován z plochy menší než 25 cm a u projektorových světlometů dokonce menší než 10 cm nabývá kvocient vzdálenosti hodnoty  $>100$ . [7]

$$E = \frac{I(\gamma_1)}{r^2} \cdot \cos(\gamma_2) \Omega_0 \quad (7)$$

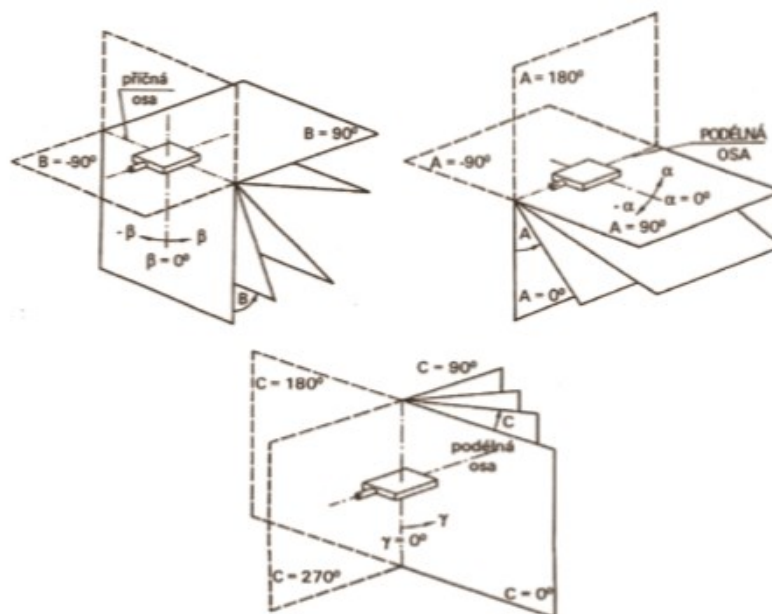
## 2.2 Křivky svítivosti

Pojem „křivky svítivosti“ jsme si již definovali v předchozím textu. Z anglického „luminous intensity distribution“ dostaly zkratku LID. Křivky svítivosti mohou být vyjádřeny ve formě ploch či prostorově (3D). Pro prostorové vyjádření mluvíme o prostorovém rozložení svítivosti. V praxi se však s prostorovým rozložením svítivosti nepracuje a používají se různé typy řezů tímto prostorem. Řezem získáme tzv. plošné křivky svítivosti. Jednou z možností je také vynesení prostorového modelu či jeho části v Kartézských souřadnicích na ploše  $(\vartheta, \varphi)$  a nazýváme ji rovněž jako „křivky svítivosti“. Navíc pojem křivky svítivosti se používá ve většině případů, bez ohledu na to v jakou formu zobrazení zvolíme.

### Plošné zobrazení

K plošnému zobrazení křivek svítivosti využíváme systém řezů prostorovým rozložením svítivosti, která se udávají v určitých polorovinách. Svítivost daných ploch je obvykle vyjádřena v poměru ke světelnému toku svítidla 1000 lm. Příslušné poloroviny prochází vždy optickým středem světelného zdroje. Pakliže křivka svítivosti daného svítidla je asymetrická, využívá se zobrazení ve více polorovinách. Poloroviny jsou vzájemně kolmé, avšak sdílí společný střed. Směr poloroviny je určen jejím názvem a úhlem rotace.

- Typ A (úhel  $\alpha$ ) – osa otáčení je horizontální a kolmá k ose světla
- Typ B (úhel  $\beta$ ) – osa otáčení je shodná s osou svítidla
- Typ C (úhel  $\gamma$ ) – osa otáčení je shodná s vertikální osou svítidla

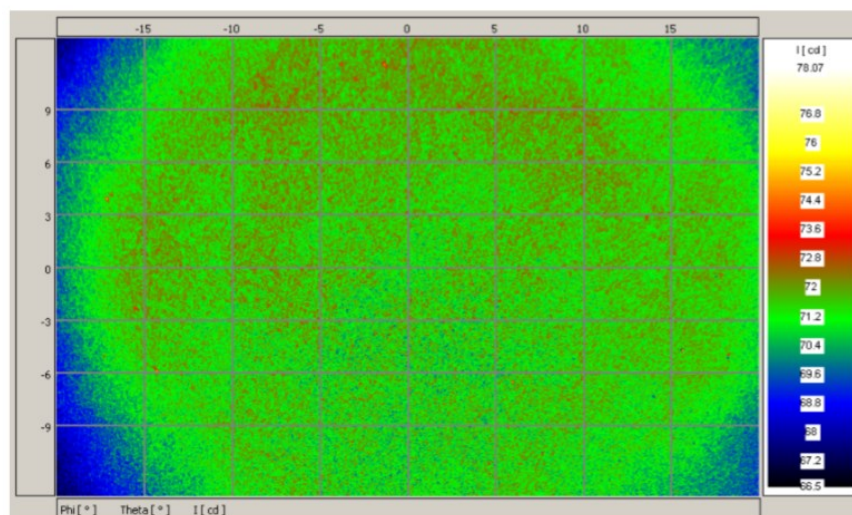


Obr. 13: Systém řezů polorovin  $A, B$  a  $C$  [3]

Pro svítidla se symetrickou vyzařovací charakteristikou postačí zobrazení křivek svítivosti pouze v jedné polorovině. Nejčastěji se setkáváme se zobrazením typu C. [3,7]

### Zobrazení na ploše $(\vartheta, \varphi)$

Jedná se o grafické zobrazení křivek svítivosti v trojrozměrném Kartézském systému s osami  $\vartheta$  a  $\varphi$ . Zobrazení umožňuje použití odstínů šedi či náhradních barev. Tento druh zobrazení se často využívá jen v případě potřeby rozboru svítivosti „v daném směru“. Jako příklad lze uvést světlo s úzkým vyzařovací charakteristikou popřípadě v situaci, kdy měřené světlo bude později využito pouze v měřeném úhlu.

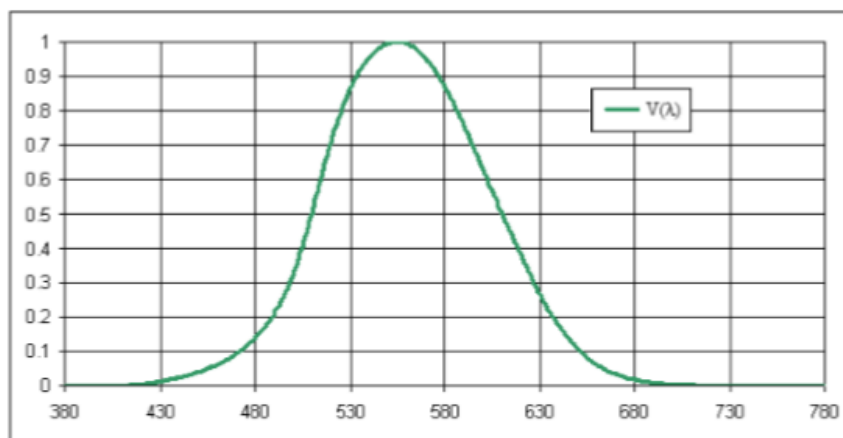


Obr. 14: Zobrazení kulového svítidla na  $(\vartheta, \varphi)$  ploše v náhradních barvách [7]

Pro měření automobilových světlometů je právě tato metoda nejvíce využívána. Automobilové světlometry patří ke světlům s velice úzkou směrovou charakteristikou. [7]

## 2.3 Fotometrie

Pro měření světla je nezbytné použít zařízení takové, aby umělo simulovat citlivost lidského oka či zaznamenat celkové spektrum viditelného světla a následně vybrat vhodný rozsah měření tak, aby odpovídalo spektrální citlivosti oka při fotopickém vidění. Mezi takové přístroje patří spektrofotometry. Přístroj analyzuje spektrum světla/záření jeho rozkladem na síti či hranolu. Avšak pro měření křivek svítivosti netvoří spektrum hlavní oblast zájmu. Poměrně často si vystačíme s informací, jako jsou například barevné souřadnice měřeného světla. Pro záznam trichromatických souřadnic je nezbytné, aby spektrální citlivost měřicího zařízení odpovídala standardům Mezinárodní komise pro osvětlování CIE. Tedy spektrální citlivost kanálu Y je stejná jako spektrální citlivost při fotopickém vidění  $V(\lambda)$ .

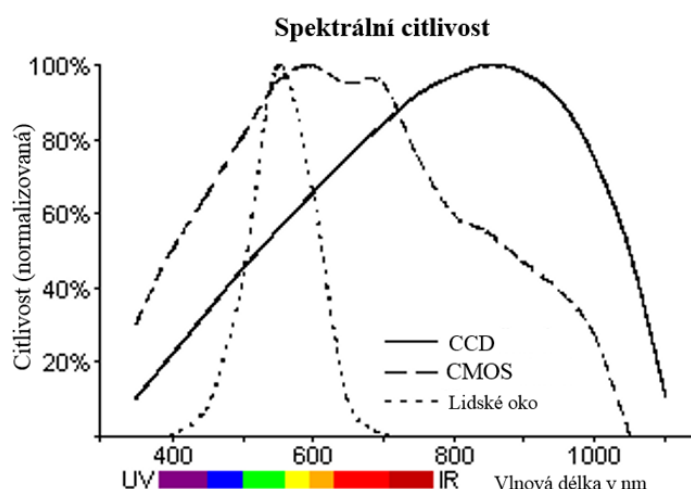


Obr. 15: Spektrální citlivost oka při fotopickém vidění [7]

Neexistují měřicí zařízení schopné přesně napodobit spektrální citlivost oka. Za normálních okolností snímají spektrum v širším rozsahu a přizpůsobení dosahují díky filtrům. Spektrum lze nastavit přidáním částečných či plných filtrů. Obě metody zahrnují použití několika (skleněných) materiálů za účelem dosažení spektrální citlivosti  $V(\lambda)$ . Při použití dílčího filtru dojde k zakrytí pouze některých částí přijímače, proto je nutné, aby vstupní záření bylo co nejvíce homogenní. Použitím takových prvků dosáhneme vysoké přesnosti  $V(\lambda)$ : ( $f_1' < 0,8\%$ ). [7]

Nicméně co získáváme je hodnota bez prostorového rozlišení. Částečné filtry jsou převážně užívány ve fotometrických hlavách úhlového fotometru. Pro kolorimetrické účely je možné aplikovat až 3 částečné filtry (X,Y,Z) v hlavě čidla. Barevný podnět je charakterizován barevným tónem, sytostí a intenzitou. Tyto tři údaje označené například X, Y, Z, se znázorní v třírozměrné soustavě souřadnic. Jako částečné filtry, celkové filtry jsou rovněž složeny z více skel. Ty jsou ovšem řazeny rovnoměrně za sebou. Na rozdíl od částečných filtrů se jejich použití nevztahuje pouze na jednoúčelové detektory (např.: manuální luxmetr), ale lze je využít v kombinaci s maticovými detektorech (CCD nebo CMOS) tedy ve fotometru schopném prostorového rozlišení. CCD čip je detektor citlivý na záření (citlivost viz. Obrázek č. 11), mění dopadající částice záření na čip v souladu s vlastní spektrální citlivostí. Pokud je v úmyslu použít fotometr pro fotometrické účely musí být celková spektrální citlivost nastavená na  $V(\lambda)$ .

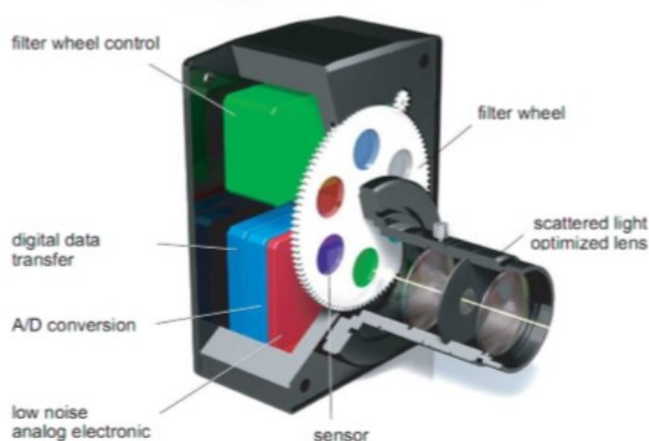
Pro každý fotometr je nainstalován úplný filtr který, mimo vlastní spektrální citlivosti CCD čipu a spektrálním posunem daným čočkou, vytváří spektrální citlivost oka. [7]



Obr. 16: Relativní spektrální citlivost CCD a CMOS senzoru [28]

Spektrální citlivost CCD čipu musí být v každém případě změřena, protože vzorky z jednoho zdroje se mohou značně lišit. Vlastní chyba prostorového rozlišení CCD čipu je zanedbatelná, ale závislost spektrální citlivosti na úhlu vstupu paprsku musí být otestována (úhel pole čoček, měřeno na straně obrazu) a pokud je to nezbytné vzít ji v úvahu při návrhu filtru. V praxi není možné dosáhnout tak přesné spektrální citlivosti  $V(\lambda)$  s plným filtrem tak jako za použití více filtrů dílčích. Jmenovitá hodnota  $f_1'$  je horší o 4% než u dobrých částečných filtrů. [7]

Pokud měříme barvu je nutné použití hned několika filtrů stejně jako v případě aplikace dílčích filtrů. Jednou z možností je využití několika fotometrů, z nichž každý obsahuje jiný barevný filtr pro danou kameru nebo vytvořit sekvenci postupným umístěním různých barevných filtrů před fotometr. Příkladem fotometr na obrázku č.17.



Obr. 17: Fotometr s otočným zásobníkem filtrů [7]



Jednou z dalších možností je použití měřicích systému s různým nastavením spektra. Nicméně, tyto přístroje musí být kalibrovány přesně na měřený světelný zdroj a jsou tedy nevyužitelné pro zdroje jiné. Vzhledem k jejich jednoúčelovosti se jimi nebudeme dále zabývat.

Různé rozsahy záření vyžadují různé fotometry nebo alespoň různé filtry. Čip CCD má vlastní citlivostní rozsah i mimo viditelné spektrum je tedy možné jej využít i v tomto spektru. Mnoho detektorů umí zachytit také spektrum v IR rozsahu. [7]

## 2.4 Měření křivek svítivosti

Křivky svítivosti lze měřit dvěma způsoby, určené hraniční fotometrickou vzdáleností. Jakékoli měření za touto hranicí nazýváme „vzdálené pole“ naopak pro vzdálenost kratší pak „blízké pole“. Pro účely měření automobilových světlometů je naší oblastí zájmu zejména vzdálené pole.

### Vzdálené pole

Pro měření vzdáleného pole existuje mnoho různých způsobů. Tyto metody dělíme do dvou základních skupin: přímé a nepřímé měření. Pro náš účel si vystačíme s jednou metodou pro přímé a jednou pro nepřímé měření, která bude později aplikována v praktické části.

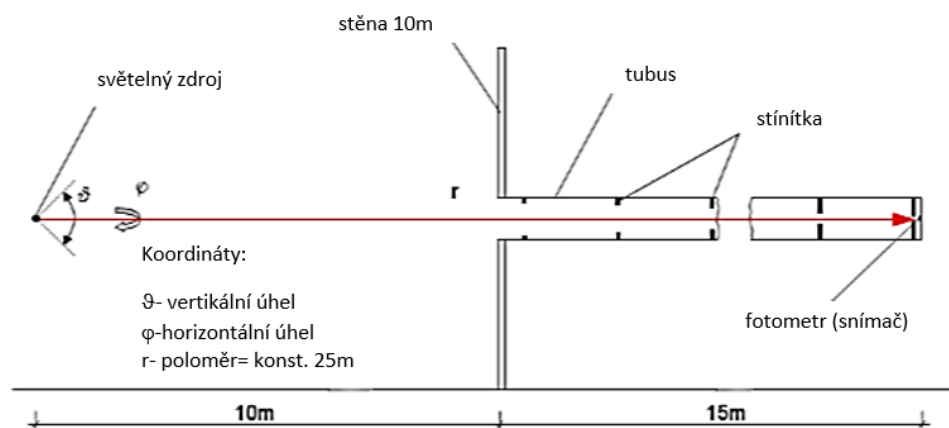
#### *Přímé měření vzdáleného pole*

Přímé měření křivek svítivosti vyžaduje přítomnost minimálně jednoho světlo-citlivého čidla (či fotometrické hlavy) v definované vzdálenosti od měřeného světelného zdroje. Zvolené čidlo je pak ozařováno přímo ze zdroje. Čidlo měří osvětlenost, a se známé vzdálenosti je možné vypočítat svítivost za pomoci čtvercova zákona. Příslušný úhel ( $\vartheta, \varphi$ ) získáme ze vzájemné pozice světelného zdroje a snímače. Pro výpočet svítivosti pro jiný úhel je potřeba učinit změnu v jejich postavení. K tomuto kroku se nabízí několik variant. Otáčení snímače kolem světelného zdroje, otáčení světelného zdroje kolem snímače či přesměrování příslušných paprsků záření na snímač. Světelný zdroj je proto snímán sekvenčně. Fotometrické nástroje využívající pro svou funkci otáčení zdroje či snímače za cílem získání sekvence hodnot svítivosti se nazývají Goniometry. Pokud je použité čidlo fotometr pak celý aparát nese označení úhlový goniometr či goniofotometr. Mimo fotometrů je možno použít kolorimetr pro měření barvy, spektrometr pro měření spektra či různé jiné. Za normálních okolností se měření provádí na opisování tvaru koule s udržovanou konstantní vzdáleností mezi snímačem a světelným zdrojem. U většiny nástrojů je možné nastavit měřítko tak, že rozlišení můžeme přizpůsobit měřenému zdroji. [7]

#### *Otočná měřicí lavice*

Na otočné lavici měříme světelný zdroj otáčející se ve dvou osách, které jsou na sebe vzájemně kolmé a tvoří jeden celek tzn. jedna z os je pevná zatímco druhá se otáčí, následně dojde k výměně úloh. Pozice snímače je pevná v definované vzdálenosti od zdroje a kolmá k otočné ose. Je nezbytné určit která z otočných os je v pevné pozici vůči prostoru. Každá z os poskytuje jiné kulové souřadnice. I přesto že různé souřadnicové systémy nejsou navzájem stejné, ale lze mezi nimi jednoduše převádět.

V závislosti na měřeném úkolu či druhu předmětu vyžadující měření, se měřicí vzdálenost a pozice otočných os v prostoru může u různých fotometrických lavic lišit. Nejčastější variantou je ta pro měření křivek svítivosti světlometů určená legislativou. Vzhledem k povaze této práce si danou variantu popíšeme podrobněji. Zaměříme se na její základní stavební prvky a funkce. Na *obrázku č. 17* je zobrazen náčrt takovéto měřicí soustavy.

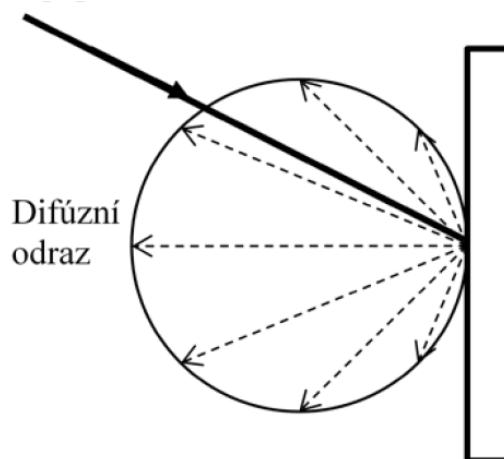


*Obr. 18: Náskres měřící soustavy s goniofotometrem  
pro měření automobilových světlometů [7]*

Goniofotometr tohoto typu má tři polohovací (doleva-doprava, nahoru-dolů, dopředu-dozaďu) a dvě rotační osy tvořící jeden celek. Horizontální osa rotace je upevněna v prostoru. Snímač či fotometrická hlava je uložena ve vzdálenosti 25 m. Obvykle má kruhový tvar o průměru 30 mm, poskytující úhlové rozlišení  $0,07^\circ$  na vzdálenosti 25 m. Každému měření předchází kalibrace polohy měřeného světlometu. Zvolení vztažného středu světlometu se zpravidla volí jako bod přesně ve středu zdroje či za ním. Nicméně při špatném určení středu je vzniklá chyba vzhledem ke měřicí vzdálenosti zanedbatelná. Střed je následně zarovnán se středem průsečíku os rotace a pomocí polohovací osy umístěn do vzdálenosti 25 m. Mezi snímačem a goniometrem se nachází dělicí stěna. Ve středu stěny je umístěna díra o průměru 30 cm, na níž navazuje 15 m dlouhý tubus. Jedním z důvodů pro umístění dělicí stěny je její pomoc při nasměrování světlometů a vizuálním posouzení výstupního světelného kužele. Tento typ goniometru má obvyklý rozsah rotace  $\pm 90^\circ$  v obou osách. Vyznačuje se mimo jiné také výbornou přesností ( $0,01^\circ$  je nejmenší možný krok). Aby snímač zachytil pouze přímé svazky paprsků vycházející ze světlometu pod nastaveným úhlem, je tubus vybavený několika stínítky, pro odfiltrování nežádoucích odrazů. Nejmenší hodnota osvětlenosti, kterou daným přístrojem můžeme měřit je 0,001 lx, což odpovídá svítivosti 0,625 cd na vzdálenost 25 m. Opakovatelnost měření dosahuje také vysoké úrovně. Konstrukční uspořádání lavice je z hlediska samotného měření velice účinné, zároveň vyžaduje velký prostor. [7]

### **Nepřímé měření křivek svítivosti**

Při měření nepřímou metodou snímáme pomocí jasového analyzátoru jasy plochy (stínítka) vložené před svítidlo ve vzdálenosti menší než je hraniční fotometrická vzdálenost. Materiály plochy použité k tomuto účelu se vyznačují vlastnostmi lambertových ploch (např.: difuze a rozptyl) a jsou spektrálně neutrální. Nabízí se použití dvou typů ploch. Difuzní odrazná plocha či rozptylový disk. Při použití difuzní plochy je jasový analyzátor umístěn ve stejném poloprostoru jako světlomet plochu osvětlující. V druhém případě je analyzátor umístěn na opačnou stranu rozptylového disku v ose měřeného světlometu.



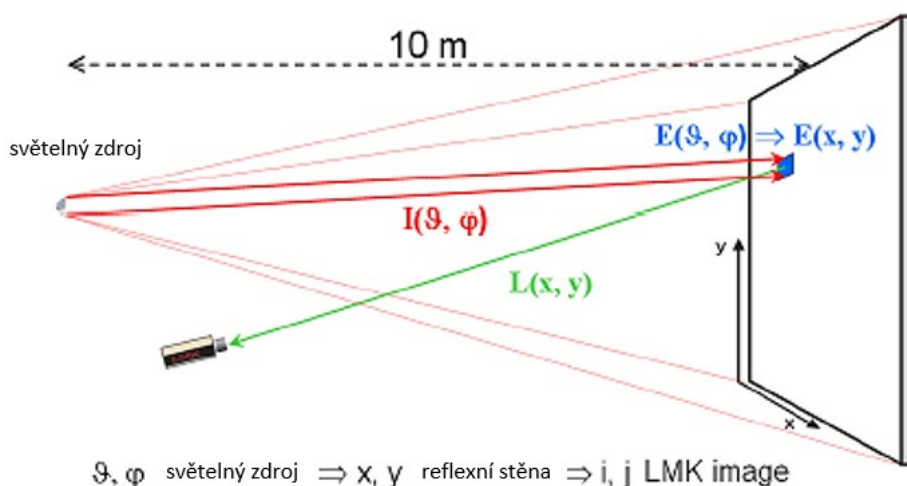
Obr. 19: Princip difúzního odrazu [30]

V závislosti na úhlu světelného kužele promítaného na plochu stínítka a zachyceného kamerou, se může křivka svítivosti lišit. Proto v případě, že velikost kužele je větší než velikost dané plochy, měříme křivky svítivosti pro světlomet po sekvencích změnou úhlu. Ačkoliv je možné otáčením zachytit křivky svítivosti v plném rozsahu polárních souřadnic, obvykle to dané uspořádání nedovoluje. Pakliže je možnost světlomet natočit pak pouze v několika pevných úhlech (např.: s krokem  $30^\circ$ ). [7]

### **Měření digitálním jasovým analyzátozem**

Pokud je světlo vyzářeno z měřeného světelného zdroje na plochu za hraniční fotometrickou vzdáleností, světelný tok dopadající na tuto plochu vyvolá osvětlenost. Důsledkem je jas, který je možné prostorově vyjádřit a měřit. Z jasových map a znalosti geometrických vztahů (pozice světelného zdroje, odrazné plochy a kamery) dostaneme odpovídající svítivost a můžeme vypočítat křivky svítivosti. Protože výpočtu křivek svítivosti je dosaženo díky přidané odrazné ploše a též odvozením ze souřadnic jednotlivých světelných bodů na základě naměřených jasů, patří tato metoda k nepřímým měření křivek svítivosti. Výsledné jasové mapy obdržíme na základě dodatečných výpočtů počítající s úhlovou závislostí naměřených křivek svítivosti. [7]

Obrázek č.20 ukazuje princip měření na příkladu měření světlometu. Typická fotometrická vzdálenost v tomto případě je 10 metrů a více. Pro jiné aplikace, jako měření LED je tato vzdálenost přiměřeně kratší.



Obr. 20: Princip nepřímého měření LID

Pokud je odraz pouze difusní, nebude jas funkcí přímého paprsku,

$$L(x, y, \vartheta, \varphi) = L(x, y) \neq f(\vartheta, \varphi) \quad (8)$$

ale bude konstantní pro různé sestavy měřících zařízení a směrově závislý na osvětlenosti  $E(x, y)$  s korekčním faktorem  $k$ :

$$E(x, y) = L(x, y) \cdot k = L(x, y) \cdot \frac{\pi \cdot \Omega_0}{\rho} \quad (9)$$

$\rho$  – koeficient odrazu (-)

Osvětlenost lze také vyjádřit jako funkci svítivosti úhlu a měřené vzdálenosti,

$$E_{A,\rho} = \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha}{r^2} \quad (10)$$

kde:  $E_{A,\rho}$  – osvětlenost (lx),

$I_\alpha$  – svítivost (cd),

$r$  – vzdálenost mezi svítidlem a odraznou plochou (m),

$\alpha$  – úhel vyzařování maximální svítivosti ( $^\circ$ ).

Osvětlenost můžeme vyjádřit i pomocí světlení, jak je vidět v následující rovnici:

$$E_{A,\rho} = \frac{M}{\rho} \Rightarrow \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha}{r^2} = \frac{M}{\rho} \quad (11)$$

kde:  $M$  – světlení ( $\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$ ),

$\rho$  – koeficient odrazu (-).

Úpravou vzorce a zanedbání kosinovy chyby získáme rovnici pro svítivost,

$$I = \frac{L \cdot \pi \cdot r^2}{\rho} \quad (12)$$

kde: I – svítivost (cd),

r – vzdálenost mezi svítidlem a odraznou plochou (m),

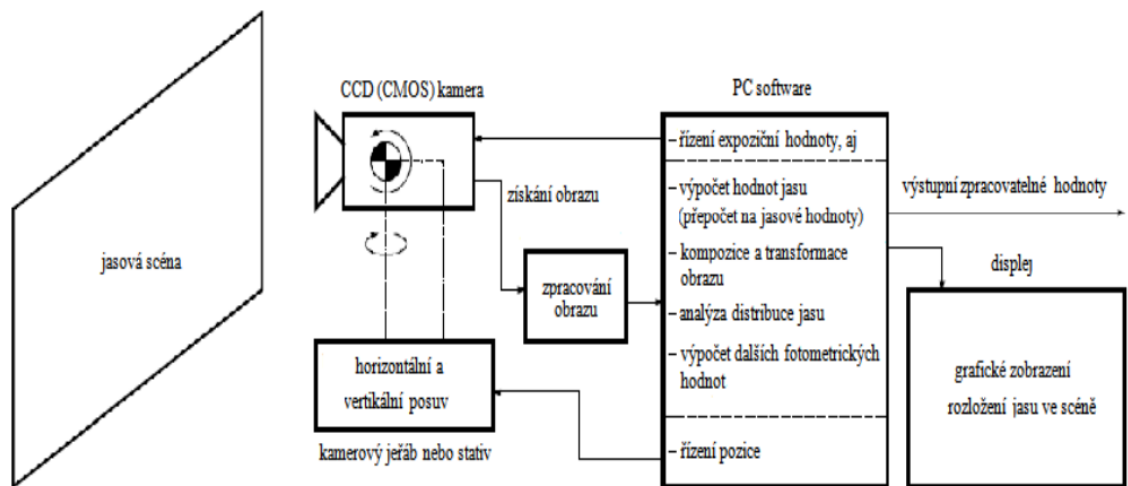
L – jas (cd.m<sup>-2</sup>),

ρ – koeficient odrazu (-).

Podle vzorce č.12 lze pak určit konstantu, kterou když vy-násobíme hodnotu jasu v pixelu (jasová mapa pořízená pomocí LMK Mobile Advanced) získáme svítivost pro izokandelový diagram. [19]

## 2.5 Princip jasového analyzátoru

Na rozdíl od konvenčních jasoměrů, u nichž dochází k přímé analýze jasu integrací jasů v měřené oblasti, moderní digitální fotografie umožňuje plošný záznam jasových map. Analýza probíhá pomocí kalibrovaných digitálních fotoaparátů neboli jasových analyzátorů. Dnešní přístroje pro záznam obrazů s CCD nebo CMOS snímači, poskytují možnost zaznamenat scénu s informacemi o rozložení jasu ve scéně. Výstupem digitálních fotoaparátů je fotografie s velkým rozlišením tvořící komplexní datový záznam obrazu původní scény.



Obr. 21: Princip jasového analyzátoru [17]

Jasový analyzátor sestává z digitálního fotoaparátu (kamery) s CCD nebo CMOS snímačem upevněným na stativu nebo posuvné lavici, z důvodu pohybu po vertikální nebo horizontální ose, či pevného umístění pro přesnější získání obrazů scény. Digitální fotoaparát, který musí být kalibrován pro měření jasu, zaznamená jas scény pomocí fotografie a v podobě tohoto datového záznamu (výstupních digitálních signálů) jej předá k dalšímu vyhodnocení. Součástí analyzátoru je software, který provádí převod snímku na jasovou informaci a umožňuje dále vyhodnocovat získaná data

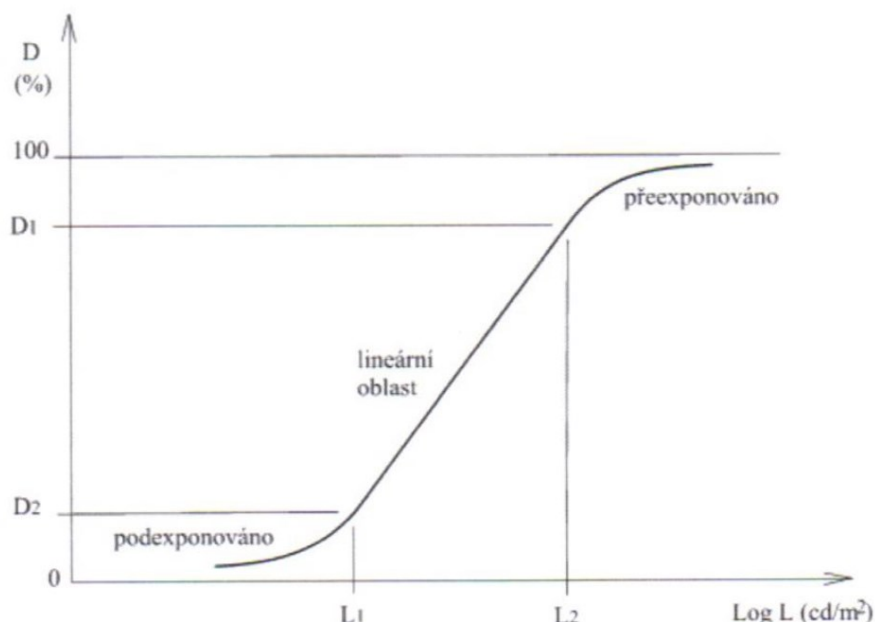
a informace o jasů scény. Součástí tohoto softwaru mohou být mimo jiné také algoritmy určené pro komunikaci s fotoaparátem, například pro nastavení jeho vstupních parametrů (expoziční časy, aj.). [17]

## 2.6 Jasové rozsahy digitálního fotoaparátu

*Převzato [10]: Celkový jasový rozsah digitálního fotoaparátu je ovlivněn kombinací základních parametrů:*

- Dynamickým rozsahem snímacího prvku,
- Rozsahem délek expozice, které nám dovolí fotoaparát využít, množinou dostupných clonových čísel (tento parametr závisí na použitém objektivu, který může být u některých, většinou profesionálních přístrojů vyměnitelný).

*Dalšími parametry ovlivňujícími jasový rozsah digitálního fotoaparátu jsou například nastavení citlivosti fotoaparátu (většinou se udává v hodnotách ISO přepočtených na standardní kinofilm), nastavení korekce expozice, atd. Toto nastavení ale současně ovlivňuje kvalitu obrazu. Závislosti jasových rozsahů na těchto parametrech se pro účely této práce zabývat nebudeme.*



Obr. 22: Teoretická závislost optické hustoty na jasů snímáného předmětu

Jedním z hlavních problémů při měření jasů pomocí digitálního fotoaparátu je velmi nízký dynamický rozsah (poměr mezi nejnižší a nejvyšší zaznamenanatelnou hodnotou jasu) dnes dostupných snímacích CCD a CMOS prvků. Zatímco dynamický rozsah je vlastností snímacího prvku fotoaparátu a jeho velikost je tedy pro konkrétní fotoaparát neměnná, minimální (a s ní související maximální) velikost zaznamenaných hodnot odpovídajících měřenému jasů lze měnit různým nastavením clony a délky expozice. Optická hustota, někdy také nazývaná denzita, je veličina vyjadřující u „klasické fotografie“ míru zčernání negativu v reakci na jeho exponování. V technologii digitální fotografie je míra zčernání negativu nahrazena počtem vybuzených elektronů dané světlocitlivé buňky.

Na obr. 19 je zobrazena převodní charakteristika odpovídající jednomu konkrétnímu nastavení délky expozice a clony fotoaparátu. Při změně těchto parametrů se celá křivka posouvá buď doprava

*(to při zkrácení délky expozice či zvětšení clonového čísla) nebo doleva. Z hlediska měření jasů digitálním fotoaparátem je významná lineární oblast mezi  $D1$  a  $D2$ . V oblastech nedostatečné a příliš vysoké expozice dochází k nelineárnímu zkreslení.*

### 3 MĚŘENÍ AUTOMOBILOVÉHO SVĚTLOMETU

Metoda měření předních automobilových světlometů metodou nepřímého měření křivek svítivosti (izokandelových diagramů) pomocí jasového analyzátoru, je metodou nestandardní a nesplňuje požadavky pro ověřování rozhraní dle předpisu R112. Přináší však možnost rychlejší a jednodušší analýzy parametrů světlometů s nižšími požadavky na prostor, v případech kdy potřebujeme rychlou analýzu vlastností světlometu například při jeho vývoji.

Měřicí soustava pro měření světelných funkcí automobilových světlometů se je umístěna v budově HARD v areálu Vysoké školy báňské, Technické univerzity v Ostravě. Laboratoř uvnitř budovy, kde se nachází měřicí stěna je rozdělena do dvou částí. Jedna je určena pro měření světelně technických veličin a najdeme zde mj. goniofotometr či kulový integrátor. Druhá část prostoru je pak určena pro měření vysokého napětí.

Měřicí stěna má konvexní tvar s poloměrem 10 metrů, její šířka odpovídá kruhové výseči 30°. Na výšku měří 3 metry a její povrch má difuzní vlastnosti blízké Lambertově ploše. Ve středu poloměru dané stěny je umístěný světlomet ve výšce odpovídající polovině výšky stěny. Umístění jasového analyzátoru by vzhledem k difuzním vlastnostem stěny nemělo hrát zásadní roli, stojí-li ve vzdálenosti světlo-stěna je možné jej horizontálně posunout vlevo či vpravo od světlometu. Pro omezení chyby je vhodné umístit jasový analyzátor co nejbližší měřenému světlu.

Získání jasové mapy probíhá pořízením série tří po sobě jdoucích snímků s různou délkou expozice. Zachycení snímků je dosaženo pomocí jasového analyzátoru LMK Mobile Advanced na těle Canon 450D s objektivem 18-50 mm. Dalším zpracováním fotografií v softwaru LMK LabSoft, obdržíme hodnoty jasů v příslušném bodě stěny. Přizpůsobením měřítka a převedením hodnot jasu na hodnoty svítivosti umožňuje zaměření jednotlivých normou daných bodů a porovnání jejich hodnoty, dle předpisu R112.

#### 3.1 Nastavení jasového analyzátoru

Před začátkem samotného měření je nezbytné provést nastavení analyzátoru dle přiloženého kalibračního listu. Kalibrační list uvádí, pro jaké hodnoty nastavení byl jasový analyzátor kalibrován a s jakou jistotou provádí záznam dat.

Postup nastavení:

- 1) Objektiv 18-50mm
- 2) Zapnutí kamery a nastavení manuálního režimu (M)
- 3) Měřicí režim: Poměrové měření
- 4) Délka expozice v rozsahu 1/100s až 3 sec dle kalibračního listu
- 5) Clona v rozsahu F4-F11
- 6) Režimu pro ukládání fotografie ve formátu L+RAW
- 7) Aktivace režimu Auto Focus
- 8) AEB (Auto Exposure Bracketing) na hodnotu -2 ..1..0..1..+2
- 9) Samospoušť: 2s.



Takto nastavený analyzátor LMK Mobile Advanced – EOS 450D je připraven k měření.



Obr. 23: LMK Mobile Advanced - EOS 450D

Jak je uvedeno v kapitole 2.6 této diplomové práce je nežádoucí měření s příliš dlouhou či naopak příliš krátkou hodnotou expozice, při stejné hodnotě clony. K tomuto nám slouží právě AEB neboli automatické posouvání expozice. Umožňuje záznam tří po sobě jdoucích snímků s různou délkou expozice pro dosažení linearizace rozložení jasů. Pakliže je snímek přexponovaný stává se pro další analýzu nepoužitelným.

### 3.2 Kalibrace měřicí stěny

Kritickou součástí měřicího procesu je kalibrace měřicí stěny. Výsledkem je koeficient odrazu dané stěny  $\rho$ , nezbytný pro výpočet svítivosti z jasů. Tento koeficient nabývá hodnoty 0 – 1 a jeho přesné určení zásadně ovlivňuje výsledek, což si lze odvodit z rovnice č.12.

Kalibrace probíhá porovnáním hodnoty naměřené luxmetrem v daných bodech, s hodnotou měřenou jasovým analyzátozem a ručním jasoměrem. Pro co nejpřesnější určení hodnoty odrazu je využit kalibrovaný normál odrazu. Porovnáním hodnot z normálu s hodnotou stěny, umožní zpřesnění měření.



Obr. 24: Normál odrazu  $\rho=96,3\%$

Osvětlení stěny je zajištěno halogenovým světlem s širokou vyzařovací charakteristikou, pro dosažení rovnoměrného osvětlení na ploše stěny. Světlo je umístěno ve vzdálenosti 10m, stejně jako pro vyhodnocování světlometů. Po zapnutí světla je nezbytné vyčkat na ustálení světelných parametrů. Doba se může lišit od použitého světla.

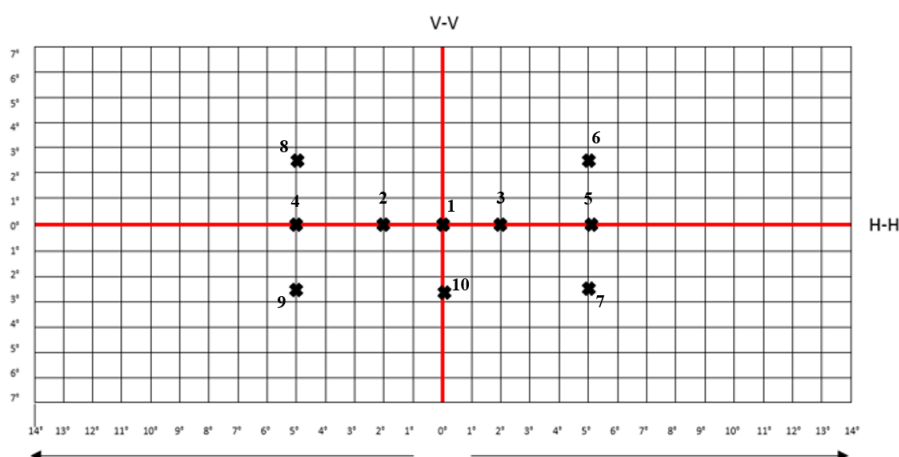
K měření osvětlenosti použijeme kalibrovaný luxmetr Radiolux 111 osazený hlavou pro měření bodové osvětlenosti. Pro porovnání jasů využíváme ruční jasoměr LS110.



Obr. 25: Zleva ruční jasoměr LS110, luxmetr Radiolux 111

Na měřicí stěně si určíme síť měřících bodů, v nichž budeme vyhodnocovat osvětlenost a jas. Pro přesné zaměření bodu využijeme snímek pořízený jasovým analyzátozem. Určení souřadnic bodů měření s jednotlivých snímků aplikujeme ve snímku referenčním. V každém měřícím bodě umístíme luxmetr a vyčkáme na ustálení měřené hodnoty. Hlavu luxmetru držíme tak, abychom nestáli v jeho zorném poli. Zaznamenáme naměřenou hodnotu.

Ověření ručním jasoměrem vykonáme změřením jasu v bodě měření. Je nezbytné si po měření luxmetrem dané místo označit, či ohraničit tak, aby zaměřovač v jasoměru mířil do oblasti, kde se nacházel luxmetr. Opět je nutné zabránit nežádoucímu stínění vlastním tělem. Proto zaznamenáme jas ze dvou stran a výsledek vyjádříme jako průměr dvou hodnot. Úhel snímání je nezbytné držet co nejužší s ohledem na možné zastínění.



Obr. 26: Rozmístění bodů na stěně

Tab. 2: Naměřené hodnoty měření stěny

$E [lx]$	L-levá	L-pravá	Ruční jasoměr [cd.m <sup>-2</sup> ]	LMK [cd.m <sup>-2</sup> ]	$\rho [ ]$		$k \cdot \rho [ ]$	
					Jasoměr	LMK	Jasoměr	LMK
24,56	7,230	7,303	7,267	7,954	0,929	1,017	0,894	0,948
24,44	7,111	7,105	7,108	7,776	0,914	1,000	0,879	0,931
23,43	7,158	7,127	7,143	7,786	0,958	1,044	0,921	0,972
24,48	7,068	7,139	7,104	7,732	0,912	0,992	0,877	0,924
24,27	7,167	7,075	7,121	7,666	0,922	0,992	0,887	0,924
24,29	7,036	7,069	7,053	7,661	0,912	0,991	0,878	0,923
23,96	7,118	7,071	7,095	7,656	0,930	1,004	0,895	0,935
23,73	6,980	7,000	6,990	7,749	0,925	1,026	0,890	0,956
23,8	6,901	6,906	6,904	7,520	0,911	0,993	0,877	0,925
23,98	6,990	6,986	6,988	7,759	0,915	1,016	0,881	0,947

Základem pro výpočet je hodnota osvětlenosti v daném bodě. Modifikací vzorce č.12 dostaneme odraznost jako funkci jasu k osvětlenosti.

Příklad výpočtu pro bod 1:

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E} \times 100\%$$

$$\rho = \frac{7,2665 \cdot \pi}{2456} \times 100\% = 92,9 \%$$

$$\rho = \frac{7,954 \cdot \pi}{2456} \times 100\% = 101,7 \%$$

Dle výsledků je rozdíl v naměřené hodnotě značný. Hodnota založená na výpočtu z jasoměru LMK dokonce nabývá nereálných hodnot větších než jedna. V tomto případě je nutné brát v potaz chyby měření všech přístrojů, které posloužili k ověření koeficientu odrazu stěny.

Pro korekci naměřených výsledků při měření stěny, je využit normál odrazu. Výsledný koeficient odrazu je přepočítán dle vztahu mezi naměřenou a skutečnou hodnotou odrazu normálu.

Tab. 3: Měření normálu

	Luxmetr	-15°	+15°	-15° dolů	L [cd.m-2]	Odrzivost	Činitel K
Jasoměr	24,2	7,645	7,666	7,821	7,71	1,001	0,962
LMK	24,2	7,91	8	7,98	7,96	1,034	0,932

Příklad výpočtu korekčního činitele k:

$$k = \frac{\rho_{norm}}{\rho} \quad (13)$$

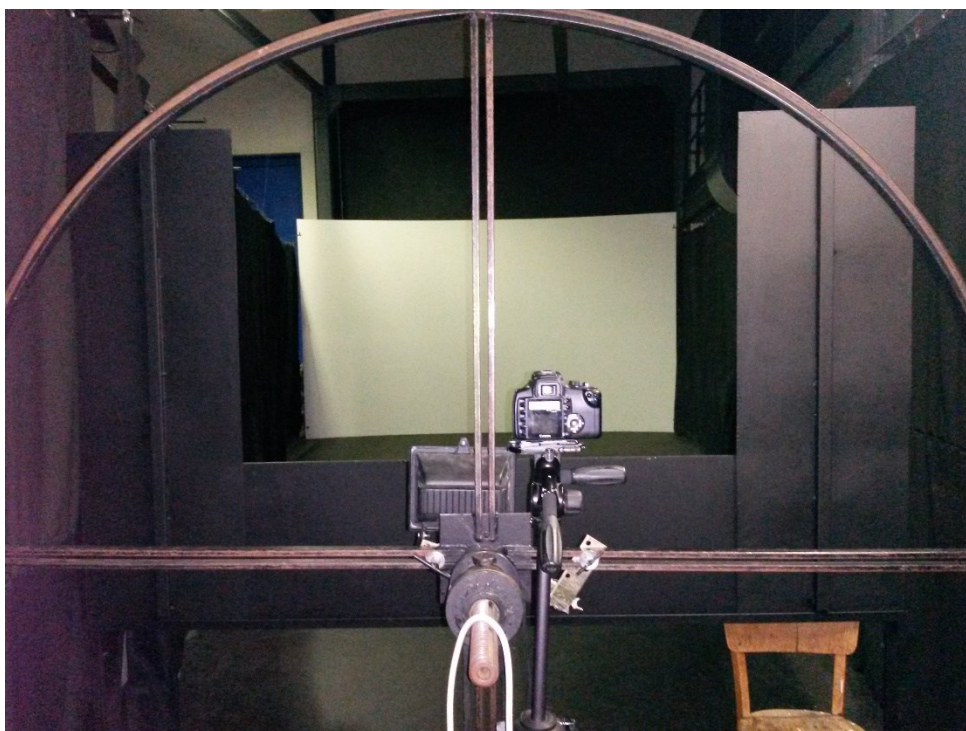
$$k_{jas} = \frac{0,963}{1,001} = 0,962$$

$$k_{jas} = \frac{0,963}{1,034} = 0,932$$

Tab. 4: Průměrné hodnoty

	Jasoměr	LMK
Průměr	0,888	0,939
Průměr celkový	0,913	

Porovnávací měření na normálu odrazu mělo posloužit ke korekci hodnot naměřených na měřicí stěně. Naměřené hodnoty lze brát pouze jako orientační a touto metodou se nepodařilo určit přesnou odrazivost stěny. Jako nejbližší přesnou lze považovat hodnotu průměru dvou korigovaných hodnot naměřených ručním jasoměrem a LMK. Pro stěnu s bílým nátěrem odpovídá tabulková hodnota činitele odrazu pro bílou stěnu 0,78-0,88.[11] S ohledem na použitý speciální difusní nátěr, lze považovat vypočítanou hodnotu, přesahující běžný nátěr jako přibližně správnou. Pro další výpočty **volíme** hodnotu koeficientu odrazu stěny  $\rho=0,913$ .

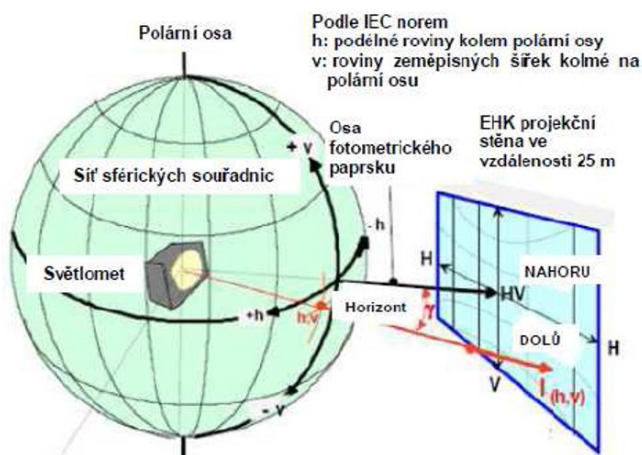


Obr. 27: Měřicí soustava pro analýzu odrazu stěny

### 3.3 Aplikace sférického systému

Vyhodnocení naměřených hodnot probíhá v přesně daných bodech (pixelech). Korektního zaměření těchto bodů dosáhneme využitím sférického systému, jak lze vidět na *obrázku č.28*. Plochu měřicí stěny si rozdělíme na jednotlivé stupně. Celková plocha stěny je ohraničena úhlem o velikosti 30° a výškou 3

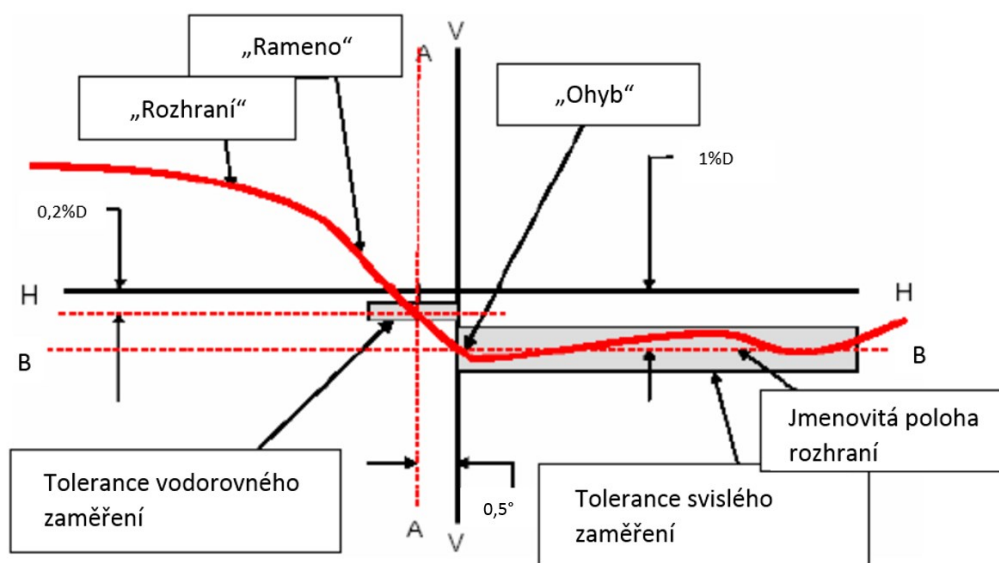
metry. Pomocí značek na stěně si pro zjednodušení vymežíme měřicí prostor, zejména je vhodné si určit hranici světlo-stín (ze stínítka) na spodní hraně měřicí stěny a horní hranici pro vertikální rozdělení na hodnotu  $15^\circ$ . Krok pro vyhodnocení v programu LabSoft pak volíme libovolně za předpokladu zachování konstantního poměru. Za dostatečné rozlišení považujeme 1 px/ 0,2 stupně (150x75 pixelů).



Obr. 28: Zaměření sférických souřadnic

### 3.4 Zaměření světlometu

Světlomet musí být vizuálně zaměřen pomocí „rozhraní“ (viz dále obrázek č.29) tak, že vodorovná část se posune nahoru z přímky B a nastaví se do jmenovité polohy  $1\%$  ( $0,57^\circ$ ) pod přímku H-H. Pro vodorovné nastavení světla pro levostranný provoz se část rozhraní „ohyb – rameno“ posune zleva doprava tak, aby po jeho posunutí nad přímku  $0,2^\circ$  D „rameno“ nepřesáhlo přímku „A“ vpravo. A zároveň na přímce  $0,2^\circ$  D nebo pod ní by „rameno“ mělo překročit přímku „A“. Poloha uzlu „ohybu“ by měla být zejména na přímce V-V.



Obr. 29: Zaměření rozhraní; Měřítka pro svislé a vodorovné přímky jsou různá.

V případě, že takto seřízený světlomet nevyhovuje požadavkům v předešlém odstavci, může jeho seřízení být změněno. Změnu lze provést za předpokladu, že osa světelného svazku se neposune u světlometu pro levostranný provoz vodorovně z přímky A o více než  $0,5^\circ$  vpravo nebo  $0,75^\circ$  vlevo a svisle ne více než  $0,25^\circ$  nahoru nebo dolů z přímky B.

Zaměřit světlomet na měřicí stěně lze přibližně ve vertikální a horizontální rovině dle *obrázku 29*. Přesnou polohu linek A, B a  $0,2^\circ$  D zaměříme v programu LabSoft přímo na jasové mapě konkrétního světlometu viz. *obrázek 33*.

### 3.5 Praktické měření křivek svítivosti potkávacího světlometu

Měřený světlomet je připevněn pomocí konzolí ke goniometru, umístěného ve vzdálenosti 10 metrů od měřicí stěny. Připojením kabelů ke stabilizovanému zdroji stejnosměrného napětí a jeho nastavení na 12V, uvedeme měřený světlomet v chod. Po uplynutí několika sekund a ověření hodnot napájecího napětí je světlomet připraven k měření.

První krokem je zaměření světla na měřicí stěně, tak aby následná analýza jasových map z analyzátoru umožnila jednoduchou identifikaci měřících bodů. Prvotní zaměření provedeme tak, že „ohyb“ rozhraní posuneme do středu měřicí stěny. Pozici stínítka před světlometem zkoordinujeme se značkami na spodním okraji měřicí stěny, tzn. horní hrana stínítka formuje stín odpovídající horizontální lince na měřicí stěně ve výšce 18 cm od podlahy. Tato pozice poskytuje dobré odstínění možných nežádoucích odrazů světla ze země mezi světlometem a měřicí stěnou. K odstínění nezbytně patří stranové vymezení měřícího prostoru před světlometem v rozsahu  $\pm 15^\circ$  od přímky V-V pomocí tmavé opony do výšky 3 m.

Dalším krokem je nastavení jasového analyzátoru pro dané měření dle *kapitoly 3.1*. Jasový analyzátor upevníme do stativu, do polohy v blízkosti zdroje světla. Objektív analyzátoru lícuje s měřeným světlometem. Pomocí hledáčku usměrníme střed přibližně do oblasti bodu HV.

Těsně před samotným měřením je nutné vypnout veškerá ostatní svítidla v místnosti a zamezit jakémukoliv nežádoucímu přístupu světla. Posledním krokem je spuštění foto-sekvence.

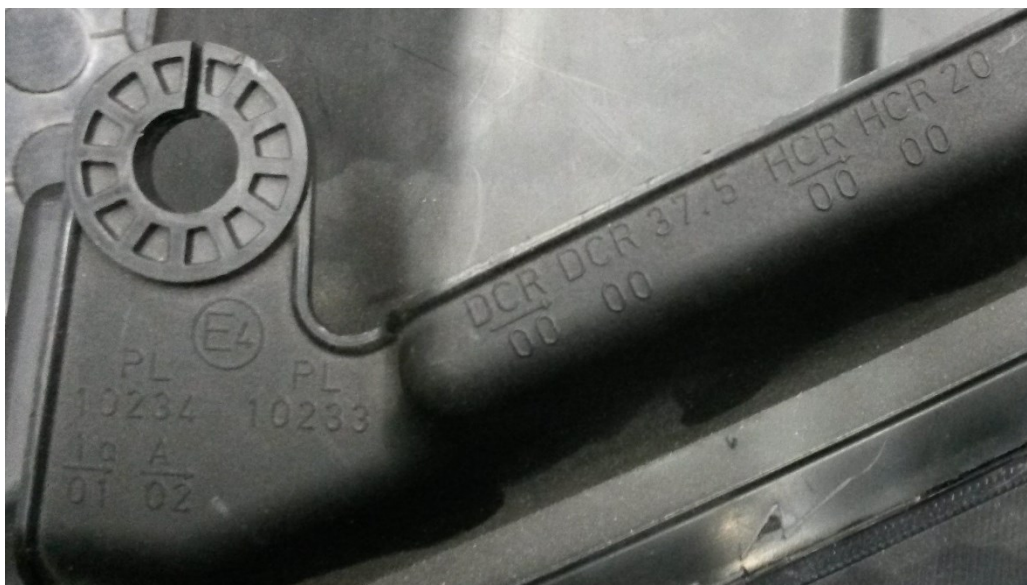
#### **Světlometry LAND ROVER**

Světlometry určené pro automobil značky Land Rover model Freelander jsou zařazeny dle homologačních značek na jejich těle, jako světlomet homologovaný v Nizozemsku (E4) dle předpisu č. 112 pod číslem homologace 234 a 233 vyhovujícím požadavkům série změn 10 tohoto předpisu. Jedná se o kombinovaný světlomet třídy B s potkávacím a dálkovým světlem (HCR), určený pro levostranný provoz (šipka vpravo). Číslo 20 udává, že maximální svítivost při použití halogenové žárovky je v rozmezí 76325 až 95375 cd. Při použití xenonové výbojky je povolená maximální svítivost odpovídající číslu 37,5 v rozmezí 151575 až 170925 cd. Krycí sklo z plastového materiálu (PL).

Světlomet je rovněž osazen přední směrovou svítilnou kategorie 1a vyhovující sérii změn 01 předpisu č.6. Součástí světlometu je také přední obrysová svítilna kategorie A vyhovující sérii změn 02 předpisu č.7.

Každý reflektor je osazen jiným druhem světelného zdroje. První měřený je osazen xenonovou výbojkou D1S, druhý pak halogenovou žárovkou typu H7.





Obr. 30: Homologační značky světlometu



Obr. 31: Měřené světlometry: Halogenový free-form vlevo; xenonový projektorový vpravo.

### **Naměřené hodnoty-potkávací světlo s xenonovou výbojkou**

Elektrické hodnoty při měření:

- $U = 12,00 \text{ V}$
- $I = 3,35 \text{ A}$

Tab. 5: Naměřené hodnoty xenonová výbojka část 1

Světlomety pro levostranný provoz		Světlomet třídy B		
Označení zkušebního bodu	Úhlové souřadnice zkušebního bodu [°]	Požadovaná		Naměřená
		Max	Min	
B 50 R	0,57U - 3,43 R	350		569 */
BL	1,0U - 2,5 L	1750		342
75 L	0,57D - 1,15L		10100	32925

75 R	0,57D - 3,43R	10600		1575
50 R	0,86D - 1,72R	13200		14436 */
50 L	0,86D - 1,72L		10100	29567
50 V	0,86D - 0		5100	35326
25 R	1,72D - 9,0R		1700	10917
25 L	1,72D - 9,0L		1700	8677
kterýkoli bod v pásmu III		625		Vyhovuje */
kterýkoli bod v pásmu IV			2500	Vyhovuje
kterýkoli bod v pásmu I		<2I*		Vyhovuje

*I\** aktuálně změřená hodnota v bodě 50 L

\*/ vyhovuje pro shodu do 30%

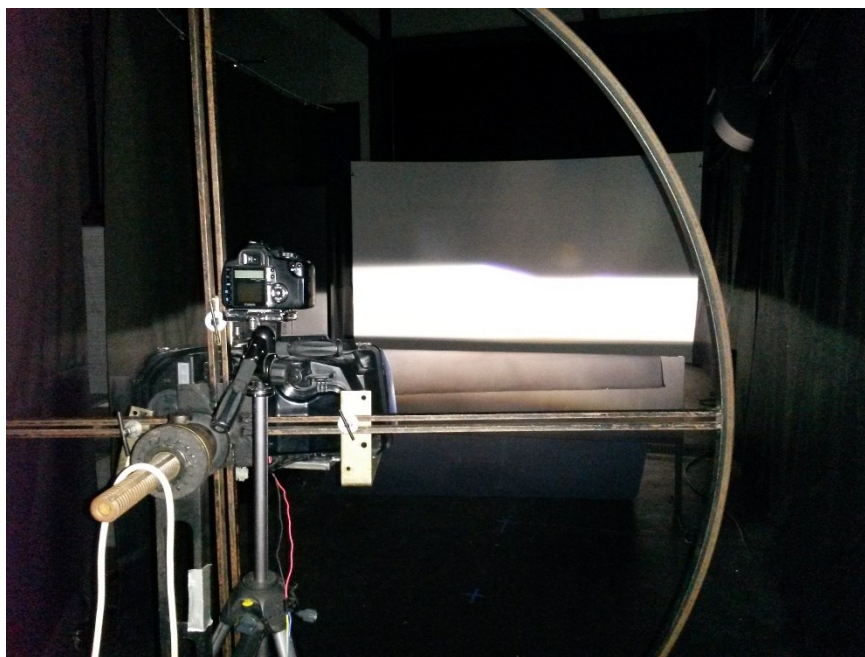
\*/ vyhovuje pro shodu do 20%

Tab. 6: Naměřené hodnoty xenonová výbojka část 2

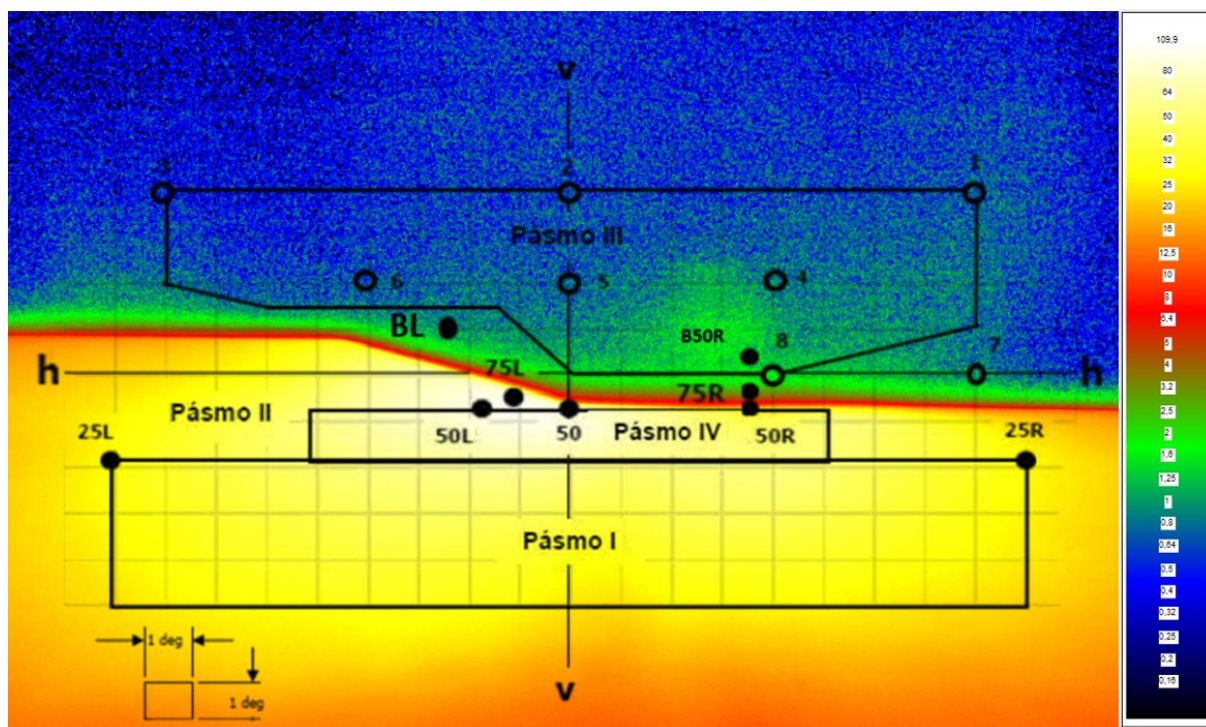
**Světlomety pro levostranný provoz**

Zkušební bod	Úhlové souřadnice [°]	Požadovaná	Naměřená svítivost [cd]
		Min	
1	4U; 8R	Body 1 + 2 + 3 190	586
2	4U; 0		
3	4U; 8L		
4	2U; 4R	Body 4 + 5 + 6 375	860
5	2U; 0		
6	2U; 4L		
7	0; 8R	65	390
8	0; 4R	125	508





Obr. 32: Měření xenonového světloometu



Obr. 33: Jasová mapa Xenonového světloometu ( $\log^3$ )

## Naměřené hodnoty-potkávací světlo s halogenovou žárovkou

Elektrické hodnoty při měření:

- $U = 12,00 \text{ V}$
- $I = 3,78 \text{ A}$

Tab. 7: Naměřené hodnoty halogenová žárovka část 1

Světlomety pro jednostranný provoz		Světlomet třídy B		
Označení zkušební bodu	Úhlové souřadnice zkušební bodu [°]	Požadovaná		Naměřená
		Max	Min	
B 50 R	0,57U - 3,43 R	350		252
BL	1,0U - 2,5 L	1750		295
75 L	0,57D - 1,15L		10100	18061
75 R	0,57D - 3,43R	10600		1922
50 R	0,86D - 1,72R	13200		5021
50 L	0,86D - 1,72L		10100	23264
50 V	0,86D - 0		5100	12031
25 R	1,72D - 9,0R		1700	2764
25 L	1,72D - 9,0L		1700	9137
kterýkoli bod v pásmu III		625		Vyhovuje */
kterýkoli bod v pásmu IV			2500	Vyhovuje */
kterýkoli bod v pásmu I		<21*		Vyhovuje

$I^*$  aktuálně změřená hodnota v bodě 50 L

\*/ vyhovuje pro shodu do 30%

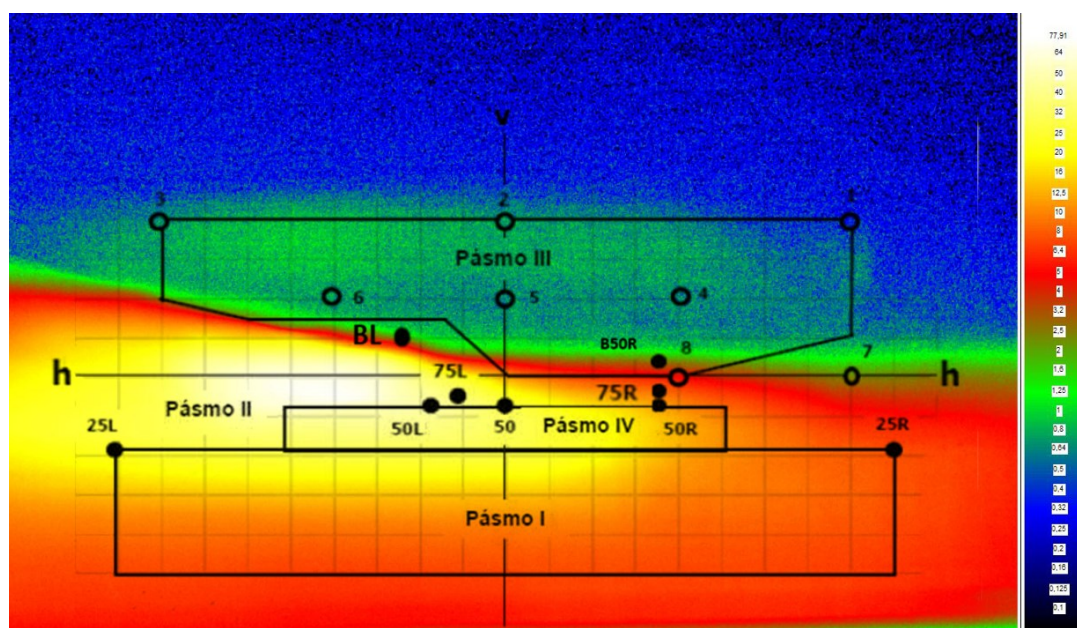
Tab. 8: Naměřené hodnoty halogenová žárovka část 2

Světlomety pro jednostranný provoz			
Zkušební bod	Úhlové souřadnice [°]	Požadovaná	Naměřená svítivost
		Min	
1	4U; 8R	Body 1 + 2 + 3 190	332
2	4U; 0		
3	4U; 8L		
4	2U; 4R		

5	2U; 0	Body 4 + 5 + 6	870
6	2U; 4L		375
7	0; 8R	65	281
8	0; 4R	125	390



Obr. 34: Měření halogenového světloometu



Obr. 35: Jasová mapa Halogenového světloometu ( $\log^3$ )

### 3.6 Postup vyhodnocení měření

Vyfotografované jasové mapy analyzujeme programem LMK LabSoft, který je součástí příslušenství jasové kamery. Pořízené snímky uloženy ve formátu RAW jsou označeny příponou „CR2“. Snímky RAW jsou zaznamenány bezprostředně a bez dodatečných korekcí. Obsahují data o hodnotě jasu jednotlivě pro každý pixel. Po otevření zvolíme použitý typ analyzátoru a jeho objektiv. Tímto krokem docílíme kalibrace softwaru pro práci s jasovou mapou. Snímky načteme jako sérii snímků.

Po otevření konkrétního snímku měření se objeví jasová mapa v pseudo-barvách v lineární závislosti na velikosti jasu. Program poskytuje možnost volby barevné škály a závislosti od lineární až po logaritmus se základem 7. Vyšší logaritmické stupně zvolíme pro vyznačení regionu, neboť poskytují vyšší rozlišení mezi světlem a tmou. Region je oblast zájmu, která poslouží k pozdější analýze. Vyznačený region si určíme tak, aby následné snížení rozlišení pomocí funkce „Projective rectification“ mělo za výsledek požadovaný poměr pix/stupeň. Tento krok je diskutován v kapitole 3.3. Použitím regionu „line“ si zaměříme horizontální a vertikální přímkou. Přepočtem z poměru dále nalezneme polohu přímkou A,B a 0,2D. V tomto stavu je snímek připraven k exportu do formátu txt.

Řetězec hodnot jasu uloženém v textovém formátu importujeme do tabulkového procesoru Microsoft Excel. V procesoru je předem vytvořen soubor funkcí pro vyhodnocení jasu dle normy. Tento excelovský soubor je součástí přílohy na přiloženém CD.

Vložením mapy jasů do příslušného listu a zadáním polohy průsečíku HV, který odečteme v programu LabSoft, dojde k okamžitému vyhodnocení a porovnání dat s požadavky normy. Pakliže, data nevyhoví, je možné posunovat průsečík v rozsahu povoleném normou a nalézt vyhovující postavení.

### 3.7 Vyhodnocení

Měřené světlomety vyhovují předepsaným svítivostem ve všech měřených bodech a pásmech. Lepších vlastností dosahuje Xenonový světlomet s výrazně ostřejším rozhraním. Oba světlomety vykazují místa s mírně vyšší jasy v oblasti pásma III, ani jeden však nepřekročil povolenou mez. Naměřené hodnoty jsou počítány na základě určeného koeficientu odrazu měřicí stěny a je proto nutno brát zřetel k jejich přesnosti. Grafy vyhodnocování pásen jsou součástí přílohy.



## 4 KVANTIFIKACE CHYB MĚŘENÍ

Hluboká analýza a přesný výpočet chyb v měřicím procesu měření odrazivost stěny a analýzu jasů jasovým analyzátozem je mimo rámec jedné diplomové práce a nelze je tedy všechny obsáhnout. Každá veličina má specifické požadavky pro přesný způsob měření a specifické spektrum chyb dané metodou a přístrojovým vybavením.

Metody měření fotometrických veličin dělíme na vizuální a fyzikální. První jmenovaná spoléhá při vyhodnocení na lidský zrak a je tedy subjektivní metodou. Fyzikální měření je objektivní metodou využívající fyzikální čidla. Subjektivní měření jsou závislá na individuálních vlastnostech pozorovatele a jejich závislosti na podmínkách pozorování. Fyzikální metody založené na přesných objektivních přístrojích jsou ovlivněny jejich kalibrací a způsobem použití. Objektivní přístroje umožňují provádět řadu rychlých či přesných měření v závislosti na požadované přesnosti. Pro provozní měření (zvl. osvětlenosti a jasů) se přesnost měření s rozšířenou nejistotou pohybuje mezi 8 až 14 %, přesná laboratorní měření (např. svítivosti a světelného toku) vykazují nejistotu měření do 8%. Jednoduchá orientační měření, určená k ověření základních podmínek zrakové pohody se rozšířená nejistota pohybuje mezi 14 až 20 %.

Má-li se při světelně technických měřeních, vizuálních či fyzikálních, dosáhnout správných, srovnatelných a reprodukovatelných výsledků, vyžaduje měření velice pečlivý postup při zachování celé řady podmínek. Nepříjemné je ovlivnění měření rozptýleným světlem, zaprášenou optickou částí fotometru či špatně zvolenou fotometrickou vzdáleností. Mezi další chyby řadíme nedostatečnou stabilitu přístrojů a světelných normálů. Z hlediska měřicích přístrojů, mluvíme hlavně o nejistotách měření vzniklých nedokonalou shodou spektrální citlivosti fotočlánku, chybou úhlu a nelinearita mezi dopadlým světelným tokem a fotoproudem. Nesmíme zanedbat ani jejich teplotní závislost a únavu.[16]

### 4.1 Nejistoty měření

Nejistota měření je parametr charakterizující interval hodnot okolo výsledku měření, v něm se s určitou pravděpodobností (nejčastěji se užívá 95%) vyskytuje správná hodnota. Podle zdroje vzniku rozlišujeme chyby přístrojů, chyby pracovníků provádějících měření, chyby metody i chyby vzniklé odlišnými podmínkami měření od předepsaných v postupu měření. Stanovení nejistoty měření vychází z předpokladu, že rozložení chyb je symetrické a neuvažuje se vychýlení. Při praktickém odhadu nejistot měření osvětlení, musíme rozlišovat:

- nejistotu změřeného parametru osvětlení v kontrolním bodě ( $E$ ,  $L$ )
- nejistotu průměru parametrů zjištěného z naměřených hodnot při plošné integraci
- nejistotu parametru zjištěného nepřímo (rovnoměrnost  $r$ , činitel odrazu  $\rho$  atd.)

Dílčí standardní nejistoty vyplývající z jednotlivých možných zdrojů nejistot lze vyhodnocovat jako nejistoty  $u_A$  typu A nebo  $u_B$  typu B.[16]

#### **Standardní nejistota typu A**

Jsou způsobovány náhodnými vlivy (jejich příčiny vzniku jsou neznámé). Je-li pro určitý zdroj nejistoty k dispozici dostatečně velký ( $>20$ ) soubor dat získaných z opakovaných měření provedených

za stejných podmínek, lze tuto dílčí nejistotu vyhodnotit jako nejistotu  $u_A$  typu A z rovnice pro směrodatnou odchylku střední hodnoty z daného souboru dat.

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 [\%]} \quad (14)$$

$X_i$  – naměřená hodnota,

$\bar{x}$  – střední hodnota z daného souboru,

$n$  – počet opakovaných měření (počet dat v daném souboru).

### **Standardní nejistota typu B**

Váže se na známé resp. identifikovatelné a kvantifikovatelné zdroje chyb. Jde o sbor systematických chyb a skládá se z jednotlivých dílčích nejistot odpovídajících chybám přístrojů, chybám pracovníka, který měření provedl a chybám metody i podmínek měření. Hodnoty nejistot typu B nezávisí na počtu opakovaných měření.

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + \dots + u_{Bn}^2} [\%] \quad (15)$$

$u_{B1} \dots u_{Bn}$  dílčí nejistoty jednotlivých parametrů ovlivňujících přesnost měření ve stejných jednotkách jako celková nejistota.

### **Kombinovaná standardní nejistota $u$**

Stanovuje se na základě všech zjištěných dílčích nejistot dle vztahu 16:

$$u = \sqrt{u_{A1}^2 + u_{A2}^2 + u_{A3}^2 + \dots + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2} [\%] \quad (16)$$

Aby se zvýšila pravděpodobnost, že se správná hodnota zjišťované veličiny vyskytuje ve vymezeném intervalu  $\pm u$  daném stanovenou nejistotou, na 95%, pracuje se s **rozšířenou nejistotou**  $U$  rovnou dvojnásobku výsledné kombinované nejistoty  $u$ . [16]

$$U = 2 \cdot u [\%] \quad (17)$$

## **4.2 Nejistota měřících přístrojů v průběhu měření**

Nejistoty vzniklé při kalibraci měřící stěny kvantifikujeme dle použitých přístrojů a metody měření. Chyby vzniklé při měření osvětlenosti luxmetry a chyby vzniklé při měření jasu jasoměry. Zaměříme se tedy zejména na vyhodnocení nejistoty typu B pro luxmetry, ruční jasoměr a digitální jasoměr LMK. Nejistotu typu A nelze vyhodnotit, neboť podmínky měření v jednotlivých bodech se lišily a není k dispozici dostatečný soubor hodnot, který by byl k povaze měření časově náročný.

Měřicí přístroje:

- Luxmetr Radiolux 111
- Ruční jasoměr LS110
- Digitální jasový analyzátor LMK Mobile Advanced

K měřicím přístrojům byly k dispozici protokoly o kalibrační zkoušce či alespoň technický list.

### **Chyby luxmetru**

Luxmetry dle normy ČSN 36 0011-1 z hlediska celkové přípustné chyby ( $f_c$ ) dělíme: na přesné ( $f_c \leq \pm 5\%$ ), provozní ( $f_c \leq \pm 10\%$ ) a orientační ( $f_c \leq \pm 15\%$ ).

Sleduje se 11 druhů chyb ( $f_1$  až  $f_{11}$ ):

- $f_1$  – odchylka of  $V(\lambda)$ ,
- $f_2$  – směrová chyba,
- $f_3$  – nelinearita,
- $f_4$  – chyba zobrazované jednotky,
- $f_5$  – nestabilita,
- $f_6$  – vliv teploty,
- $f_7$  – modulované záření (při 100 Hz)
- $f_8$  – vliv polarizace světla,
- $f_9$  – chyba nelinearity,
- $f_{10}$  – odolnost proti přetížení,
- $f_{11}$  – při změně rozsahu přístroje.
- $u, r$  – citlivost UV a IR

Chyby  $f_6$  až  $f_{11}$  se zjišťují pouze při typové zkoušce přístroje.

### ***Luxmetr RADIOLUX 111***

Jedná se o klasický ruční luxmetr třídy A s prodlužovací 3 metrovou šňůrou a výměnou hlavou podle požadované úlohy. Použit byl pro měření osvětlenosti v bodech na měřicí stěně. Na základě kalibračního listu a seznamu normalizovaných chyb byla vytvořena *tabulka 9* pro výpočet standardní nejistoty typu B.

*Tab. 9: Chyby luxmetru Radiolux 111*

Označení	Označení nejistoty	Zdroj chyby	Třída	rovnoměrné rozložení $u/\sqrt{3}$	$u^2$ [%]
			$u$ [%]		
$f_0$	$u_{B0}$	chyba kalibrace	1,5	0,86	2,25
$f_1$	$u_{B1}$	odchylka od $V(\lambda)$	3	1,73	2,99
$f_2$	$u_{B2}$	směrová chyba	1,5	0,87	0,76
$f_3$	$u_{B3}$	nelinearita	1	0,58	0,34
$f_4$	$u_{B4}$	chyba zobrazované	3	1,73	2,99
$f_5$	$u_{B5}$	nestabilita	0,5	0,29	0,08
$f_7$	$u_{B6}$	modulované záření	0,2	0,12	0,01
$f_{11}$	$u_{B7}$	při změně rozsahu	0,5	0,29	0,08
$u$	$u_{B8}$	citlivost UV	1	0,58	0,34
$r$	$u_{B9}$	citlivost IR	1	0,58	0,34
$f_m$	$u_{B10}$	chyba metody	2	1,15	4
Celková	$u_{B_{lux}}$	nejistota typu B: $u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + \dots + u_{Bn}^2}$			3,76
Rozšířená nejistota $U=2 \cdot u$					7,52

Celková standardní nejistota typu B u luxmetru Radiolux 111 byla stanovena na  $\pm 3,76$  [%]. Z ní vypočítaná standardní rozšířená nejistota  $U = \pm 7,52$  %. Tato hodnota jej řadí mezi luxmetry provozní.

### **Chyby jasoměru**

Jasoměry dle normy ČSN EN 13032-1 z hlediska celkové přípustné chyby ( $f_c$ ) dělíme: na přesné ( $f_c \leq \pm 7,5\%$ ), provozní ( $f_c \leq \pm 10\%$ ) a orientační ( $f_c \leq \pm 15\%$ ).

Při měření jasu musíme mít vždy na zřeteli, že jasoměrem zjišťujeme střední hodnotu jasu měřené plochy, kterou vymezuje optika přístroje v závislosti na vzdálenosti jasoměru od měřeného povrchu. Proto je nutné vždy dbát na to, aby měřená plocha zahrnovala pouze povrch, jehož jas hodnotíme.

Tab. 10: Chyby jasoměru



Označení	Zdroj chyby	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
		[%]	[%]	[%]	[%]
$z_1$	odchylka od $V(\lambda)$	1,5	3	6	9
$z_2$	UV - citlivost	0,2	1	2	4
$z_3$	IR - citlivost	0,2	1	2	4
$z_4$	chyba linearity	0,2	1	2	5
$z_5$	chyba měřicího přístroje	0,2	3	4,5	7,5
$z_6$	teplotní závislost	0,1/K	0,2/K	1/K	2/K
$z_7$	činitel stárnutí	0,1	0,5	2	2
$z_8$	stabilita	0,1	0,2	0,5	1
$z_9$	směrová odchylka	0,1	0,5	1	2
$z_{10}$	spektrální chyba	0,2	0,8	1,5	3
$z$	celková chyba	5	7,5	10	20

#### ***Ruční jasoměr Konica Minolta LS110***

Použitý jasoměr Konica Minolta patří do třídy přesnosti B, jedná se tedy o přístroj pro provozní měření a pro výpočet nejistoty budeme uvažovat zdroje nejistot ve třetím sloupci *tabulky 10*, přičemž deklarovaná chyba měřicího přístroje je 2%. V rámci nejistoty typu B zahrnujeme také vliv chyby metody při daném měření.

*Tab. 11: Chyby ručního jasoměru*

Označení	Zdroj chyby	$u$	rozložení rovnoměrné $u/\sqrt{3}$	$u^2$
		[%]		[%]
$u_{B1}$	odchylka od $V(\lambda)$	6	3,46	12,00
$u_{B2}$	UV - citlivost	2	1,15	1,33
$u_{B3}$	IR - citlivost	2	1,15	1,33
$u_{B4}$	chyba linearity	2	1,15	1,33
$u_{B5}$	chyba měřicího přístroje	2	1,15	1,33
$u_{B6}$	teplotní závislost	1	0,58	0,33
$u_{B7}$	činitel stárnutí	2	1,15	1,33
$u_{B8}$	stabilita	0,5	0,29	0,08
$u_{B9}$	směrová odchylka	1	0,58	0,33
$u_{B10}$	spektrální chyba	1,5	0,87	0,75
$u_{B11}$	chyba metody	5	2,88	25
$u_{Bjas}$	nejistota typu B: $u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + \dots + u_{Bn}^2}$			6,59
Rozšířená nejistota $U=2.u$				13,18

Celková standardní nejistota typu B pro ruční jasoměr byla stanovena na  $\pm 6,59$  [%]. Z ní vypočítaná standardní rozšířená nejistota  $U = \pm 13,18$  %. Tato hodnota jej řadí mezi jasoměry orientační.

### ***Digitální jasový analyzátor LMK Mobile Advanced***

Stanovení nejistoty typu B na základě dílčích chyb u digitálního analyzátoru vychází z literatury [18]. Rozbor je vytvořen na základě znalosti měření a funkce digitálního fotoaparátu. Kalibrační nejistota je výrobcem stanovena na  $\pm 2,5\%$ .

$u_{B1}$  – nastavení uzávěrky a expozice; chyba se zakládá na nastavené a skuteční době expozičního času.

$u_{B2}$  – nastavení ISO; chyba v zesílení citlivosti na světlo; zvyšuje šum.

$u_{B3}$  – stálost expozice; závisí zejména na přesném opakovatelnosti nastavení uzávěrky a expozice

$u_{B4}$  – Analogově/Digitální převod; závisí na bitové šířce převodníku.

$u_{B5}$  – vyvážení bílé.

$u_{B6}$  – šum; vyhodnocování v jednotlivých pixelech, může být původcem chyby, pakliže konkrétní pixel je zatížen šumem

$u_{B7}$  – transformace barev

$u_{B8}$  – vinětace; cosinova chyba rozložená na jednotlivé pixely

$u_{B9}$  – zbloudilé světlo

Tab. 12: Chyby digitálního analyzátoru

Označení	Zdroj chyby	$u$	rozložení rovnoměrné $u/\sqrt{3}$	$u^2$
		[%]		[%]
$u_{B1}$	uzávěrka a expozice	0,05	0,0115	0,0004
$u_{B2}$	ISO	0,1	0,057	0,01
$u_{B3}$	stálost expozice	0,1	0,057	0,01
$u_{B4}$	A/D převodník	0,2	0,115	0,04
$u_{B5}$	vyvážení bílé	0,1	0,057	0,01
$u_{B6}$	šum	0,1	0,057	0,01
$u_{B7}$	transformace barev	0,05	0,029	0,0025
$u_{B8}$	vinětace	0,05	0,029	0,0025
$u_{B9}$	zbloudilé světlo	0,1	0,057	0,01
$u_{B10}$	chyba přístroje	2,5	1,443	6,25
$u_{B11}$	chyba metody	2	1,15	4
$u_{Bjas}$	nejistota typu B: $u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + \dots + u_{Bn}^2}$			3,21
Rozšířená nejistota $U=2 \cdot u$				6,42

Celková standardní nejistota typu B pro digitální jasoměr byla stanovena na  $\pm 3,21\%$ . Z ní vypočítaná standardní rozšířená nejistota  $U = \pm 6,42\%$ . Tato hodnota jej řadí mezi jasoměry provozní.

### 4.3 Další možné příčiny chyb v měřícím procesu

Stěžejní je určení koeficientu odrazu stěny, při jehož měření zatěžujeme konečný výsledek velkou nejistotou v důsledku použití několika přístrojů. Normovanou zkouškou pro ověření koeficientu odrazu by jsme získali zcela přesný výsledek zatížený malou chybou, avšak je třeba zvážit prostředí v jakém se stěna vyskytuje a možnost degradace jejich vlastností. Stěna je umístěná v laboratoři pro techniku vysokého napětí, sloužící mimo jiné také jako garáž. Otevírání velkých vrat pro vjezd a výjezd automobilu, má za následek vnik prachu z venčí do laboratoře. Možnost ulpění prachu na bílé stěně s difusním povrchem je tak více než pravděpodobná, a časem může pomalu docházet ke změnám vlastností vzhledem usazenému prachu. Proto stěna vyžaduje pravidelnou kalibraci. Při měření se také zanedbává kosinova chyba a při výpočtu se uvažují pouze difusní vlastnosti stěny.

Další chyby:

- použití nekalibrovaných světelných žárovek a výbojek ve světlotemtech. Daný problém ještě navyšuje nejistotu pro odchylku od křivky  $V(\lambda)$  u měřících přístrojů. Navíc v případě světlotmetu

vybaveného halogenovou žárovkou je situace obdobná jako při měření koeficientu odrazu stěny. Pro druhý typ světloometu vybaveného xenonovou výbojkou, však nastává změna vyzařovaného spektra a může vznikat chyba odchylky od  $V(\lambda)$ ,

- nežádoucí odrazy od neodstíněných povrchů, např. volný poloprostor nad měřicí stěnou dává možnost pro několikanásobné odrazy a ovlivnění výsledku, ačkoliv jsou stropy v laboratoři vysoké a platí čtvercův zákon,
- poloha jasového analyzátoru (v případě měření světlometů, nebylo možné umístit analyzátor do jeho vertikální osy),
- nestabilní napájení (má vliv na světelný tok ze světelného zdroje),
- teplota v laboratoři,
- teplota svítidel.

#### 4.4 Návrh omezení vlivu chyb v měřícím procesu

Základním parametrem pro omezení chyb je dodržení všech zásad správného měření. Provést měření opakovaně a s přesně kalibrovanými přístroji. Návrh na omezení chyb vychází z větší části z předchozí kapitoly.

- Důležité je správné nastavení digitálního analyzátoru a držet expozici v lineární oblasti viz *obrázek 22*.
- umístění LMK ve vertikální ose světloometu umožní, využít postranní panely na stínítku a vymezit tak vyzářený kužel. Možnost omezení shora by rovněž snížilo riziko ovlivnění měření několikanásobnými odrazy,
- hlídání napájecího napětí světloometu spolu s řádným zahořením před započítáním měření,
- hlídat teplotu v laboratoři a teplotu světloometu,
- správně zaměřit světlomet a zvolit měřítko.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo se zaměřit na oblast automobilových světlů a analyzovat je z hlediska měření světelně technických parametrů. Vytvořit postup měření automobilových světlometů za využití měřicí stěny ve světelné laboratoři budovy HARD na VŠB, a to metodou nepřímého měření jasů pomocí digitálního jasového analyzátoru. Součástí měření bylo také určit koeficient odrazu měřicí stěny, nezbytný pro výpočet odpovídající svítivosti z naměřených jasů. Na základě provedeného měření byl vytvořen výčet chyb, které ovlivňují měřicí proces. V návaznosti pak návrh na omezení vzniku těchto chyb. Praktické měření a návod najde využití v hodinách Provozování osvětlovacích soustav, pro které byla zpracována laboratorní úloha.

První část praktické části řešila určení koeficientu odrazu měřicí stěny. Zvolená metoda porovnání naměřených osvětleností a jasů na stěně v konfrontaci s naměřenými hodnotami na normálu odrazu se ukázala jako značně nepřesná. Běžná hodnota koeficientu odrazu bílé stěny se tabulkově pohybuje od 78 do 88 procent. Vypočtená hodnota po přepočtu z jasů pak, zejména u jasového analyzátoru vykazovala až nereálné hodnoty větší než jedna. Porovnávacím měřením na normálu odrazu, byl vypočten korekční faktor pro přepočet koeficientu odrazu. Ani tímto se nedocílilo shodné hodnoty koeficientu odrazu z jednotlivých druhů jasoměru. Ruční jasoměr určil výsledný koeficient 0,888, zatím co hodnota z digitálního analyzátoru 0,939. Výsledná hodnota použitá pro další výpočty, byl zvolen průměr hodnot koeficientu jednotlivých jasoměrů. Koeficient odrazu byl stanoven na  $\rho = 0,913$ .

Druhá část měření se zaměřila na měření konkrétních světlometů z automobilu Land Rover Freelander, jenž jsou součástí laboratorního vybavení. Jednalo se o typ předního světlometu pro levostranný provoz v počtu dvou kusů. Jeden vybaven xenonovou výbojkou, druhý pak vybaven halogenovou žárovkou. U světlometů byla analyzována svítivost v předepsaných bodech dle předpisu R112, při funkci potkávacích světel. Po pořízení snímků následovalo dodatečné zaměření „rozhraní“ světlometu v programu LabSoft a konverze hodnot jasů do textového souboru. Ten byl následně importován do vytvořeného souboru v tabulkovém procesoru Excel. Soubor „Vyhodnoceni\_svetlometu“ slouží pro převedení hodnot jasů na svítivost s ohledem na zvolený koeficient odrazu a vyhodnocení svítivosti v jednotlivých měřicích bodech a pásmech. Danou funkci pro vyhodnocení světlometů nabízí také výrobce jasového analyzátoru TechnoTeam jako rozšíření pro program LabSoft. Toto rozšíření však není v laboratoři k dispozici. Vyhodnocením obou světlometů v jednotlivých bodech i pásmech docházím k závěru, že světlomety by vyhověly zkoušce na ověření osvětlenosti v rámci zkoušky pro ověření shodnosti výroby. Lepších vlastností dosahuje xenonový světlomet, díky ostřejšímu rozhraní, daným konstrukčním řešením projektorového světlometu.

Kvantifikace chyb se soustředí na zhodnocení přesnosti jednotlivých přístrojů a chyb daných metodou měření. Největší rozšířenou nejistotou je zatížen ruční jasoměr Konica Minolta LS-110  $U = \pm 13,18\%$ , po té luxmetr Radiolux 111  $U = \pm 7,52\%$  a digitální jasový analyzátor LMK  $U = \pm 6,42\%$ .

Omezení chyb je zejména založeno na dodržení měřicích procesů s jednotlivými přístroji a důkladné sestavení měřicí sestavy. Navrženo je například také vytvoření stínítka na omezení vyzařování nad stěnu. Vytvořená úloha (viz. *Příloha G*) má za úkol seznámit studenty s měřením nepřímou metodou digitálním analyzátozem a s problematikou předních světlometů.

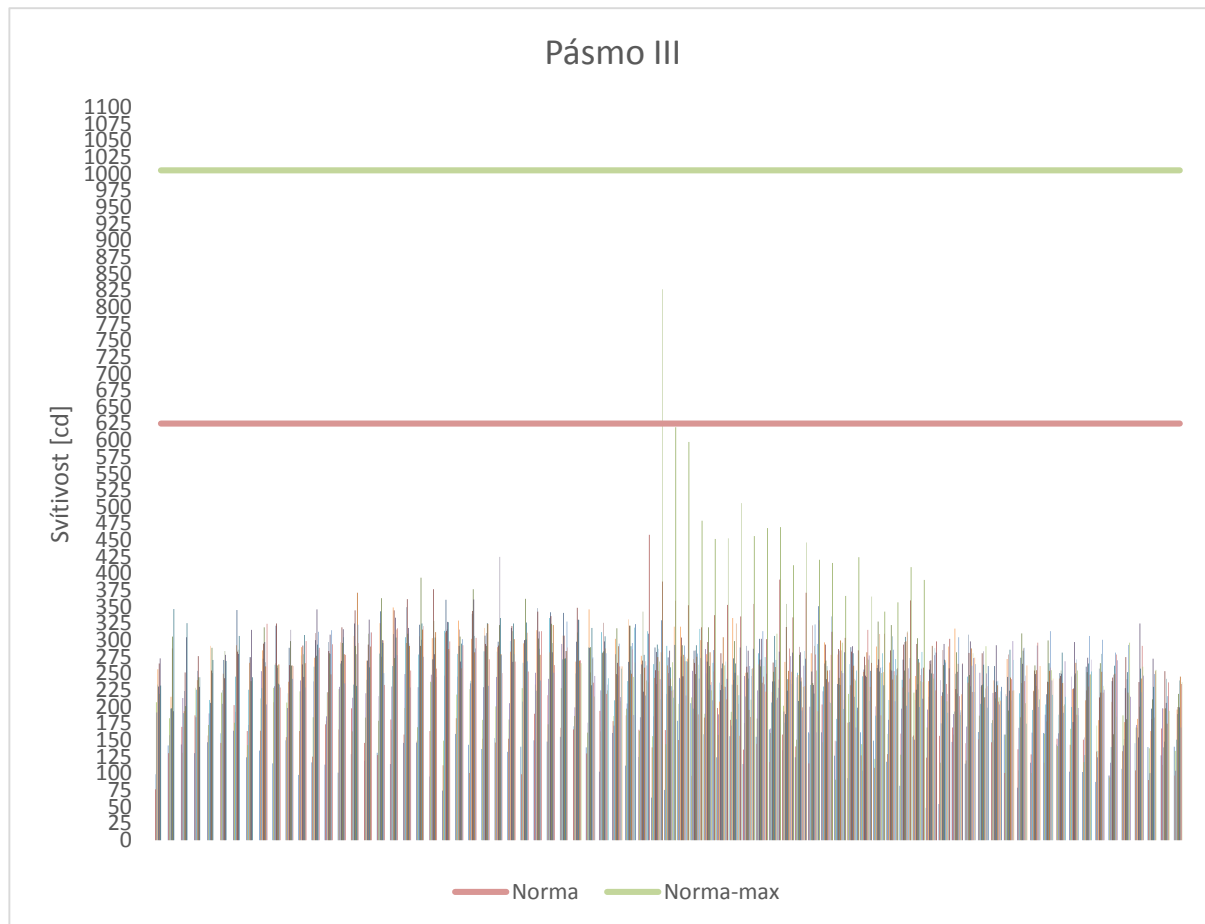
# LITERATURA

- [1] VLK, František. *Elektrická zařízení motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2005, 251 s. ISBN 80-239-3718-9.
- [2] VJACLOVSKÝ, Jakub. *Měření úhlového rozptylu odraženého a propuštěného světla*. Olomouc, 2010. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého Olomouc.
- [3] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [4] -E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.47.Předpis 48:Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska montáže: zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci. 2011.
- [5] E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.2.Předpis112:Jednotná ustanovení pro homologaci světlometu motorových vozidel, které vyzařují asymetrické potkávací světlo nebo dálkové světlo nebo obojí a které jsou vybaveny žárovkami a/nebo led moduly. 2011.
- [6] SAMSUNG ELECTRONICS. Data sheet: AH665B\_W. 2014. Dostupné z: [http://www.samsung.com/global/business/business-images/led/file/product/automotive-lighting/201501/AH665B\\_W\\_SPHWH2A6NB00WYRAUD\\_Rev.01.pdf](http://www.samsung.com/global/business/business-images/led/file/product/automotive-lighting/201501/AH665B_W_SPHWH2A6NB00WYRAUD_Rev.01.pdf)
- [7] SCHWANENGEL, Ch. *Comparison of techniques for measuring luminous intensity distribution overall and across segments*. In: *TechnoTeam* [online]. Srpen. 2010 [cit. 2015-02-25].Dostupné z:[http://www.technoteam.de/apool/tnt/content/e6009/e6311/e5983/pb\\_download5985/LID\\_Measurements\\_eng.pdf](http://www.technoteam.de/apool/tnt/content/e6009/e6311/e5983/pb_download5985/LID_Measurements_eng.pdf)
- [8] GROF, Tomáš. *Aktivní bezpečnost zaměřená na osvětlení vozidel*. Pardubice, 2008. Diplomová práce (Ing.). Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [9] FIRST, Jiří a kol. *Zkoušení automobilů a motocyklů : Příručka pro konstruktéry*. Praha : S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [10] FIŠERA, Michal. *Digitální fotografie a zorné pole lidského oka*. Praha, 2005. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [11] HABEL, Jiří. *Osvětlování*. Vyd. 1. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1991.
- [12] DERLOFSKE, John F. Van a Michele MCCOLGAN. White LED sources for vehicle forward lighting. *Solid State Lighting II* [online]. 2002 [cit. 2015-04-24]. DOI: 10.1117/12.452569.
- [13] WÖRDENWEBER, Burkard. *Automotive lighting and human vision*. New York: Springer, c2007, xvi, 409 p. ISBN 35-403-6696-2.
- [14] Obrázek *Princip pixelových světlometů*. Dostupné z : <http://www.21-lamp.com/Article/UploadFiles/200611/20061120071216285.jpg>
- [15] SVOBODA, M. *Srovnání konvenčních a nových metod měření a hodnocení jasů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 84 s.
- [16] HABEL, Jiří a Petr ŽÁK. *Elektrické světlo I*. Praha, 2011. Dostupné z: [http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni\\_materialy/es1/a5m15es1\\_final.pdf](http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni_materialy/es1/a5m15es1_final.pdf)
- [17] NÁLEVKA, Lukáš. *Software na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie*. Brno, 2015. Diplomová práce. VUT Brno.
- [18] WÜLLER, Dietmar a Helke GABELE. The usage of digital cameras as luminance meters. *The usage of digital cameras as luminance meters* [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.framos.com/fileadmin/media/pdf/press->

- [releases/The\\_usage\\_of\\_digital\\_cameras\\_as\\_luminance\\_meters\\_EI\\_2007\\_6502\\_29.pdf](#)
- [19] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK a Petr ZÁVADA. Nový přístup k měření křivek svítivosti návěstidel na přistávacích drahách letišť. *Lumen*. 2012.
  - [20] Obrázek, *Xenonová výbojka D1S*. Dostupné z: <http://www.advancedfactors.co.uk/ekmps/shops/advancedfactors/images/66144-d1s-osram-xenon-headlamp-bulb-xbi500020-3588-p.jpg>
  - [21] Obrázek, *Halogenová žárovka H7*. Dostupné z: [http://allworldautomotive.com/images/userphotos/12570\\_16265.jpg](http://allworldautomotive.com/images/userphotos/12570_16265.jpg)
  - [22] FABIAN, Michael a Jana FABIANOVÁ. *Vývoj automobilových reflektorů a bezpečnost jízdy v noci*. 2011. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/win/josra/josra-02-2011/auto-reflektory.html>
  - [23] KOCIÁN, M. *Současný stav a vývoj mezinárodních předpisů pro osvětlení automobilů*. Časopis světlo. Dostupný z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/soucasny-stav-a-vyvoj-mezinarodnich-predpisu-pro-osvetleni-automobilu--16930>
  - [24] ŤLEBEK, M. *Osvětlení automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 79 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
  - [25] *BMW laser light*. Dostupné z: <http://www.popularmechanics.com/cars/a10841/how-it-works-the-bmw-i8s-laser-headlights-16905044/>
  - [26] *BMW laser light*. Dostupné z: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology\\_guide/articles/laser\\_light.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/laser_light.html)
  - [27] Vlk, František. *Automobilová elektronika 2. / Systémy řízení podvozku a komfortní systémy : [systémy ABS/ASR/ESP, elektronické brzdové systémy, zádržné systémy, osvětlení vozidla, komfortní systémy]*. 1. vyd. Brno : František Vlk, 2006. 308 s. ISBN 80-239-7062-3.
  - [28] Obrázek, *Spektrální citlivost čipů CCD a CMOS*. Dostupný z: <http://www.fen-net.de/walter.preiss/e/slomoinf.html>
  - [29] VANÍK, František a Holeček VILÉM. Světlometry a elektronika světlometů. In: [online]. Škoda Auto, 2009 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://intech2.tul.cz/dokumenty/vystupy\\_z\\_projektu/09~Partner%20-%20%C5%A0KODA%20Auto/P2-06\\_Sv%C4%9Btlometry%20a%20elektronika%20-%20Hole%C4%8Dek.pdf](http://intech2.tul.cz/dokumenty/vystupy_z_projektu/09~Partner%20-%20%C5%A0KODA%20Auto/P2-06_Sv%C4%9Btlometry%20a%20elektronika%20-%20Hole%C4%8Dek.pdf)
  - [30] KUMPÁN, V. *Studium odrazivosti povrchů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 81 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lucie Dordová, Ph.D.

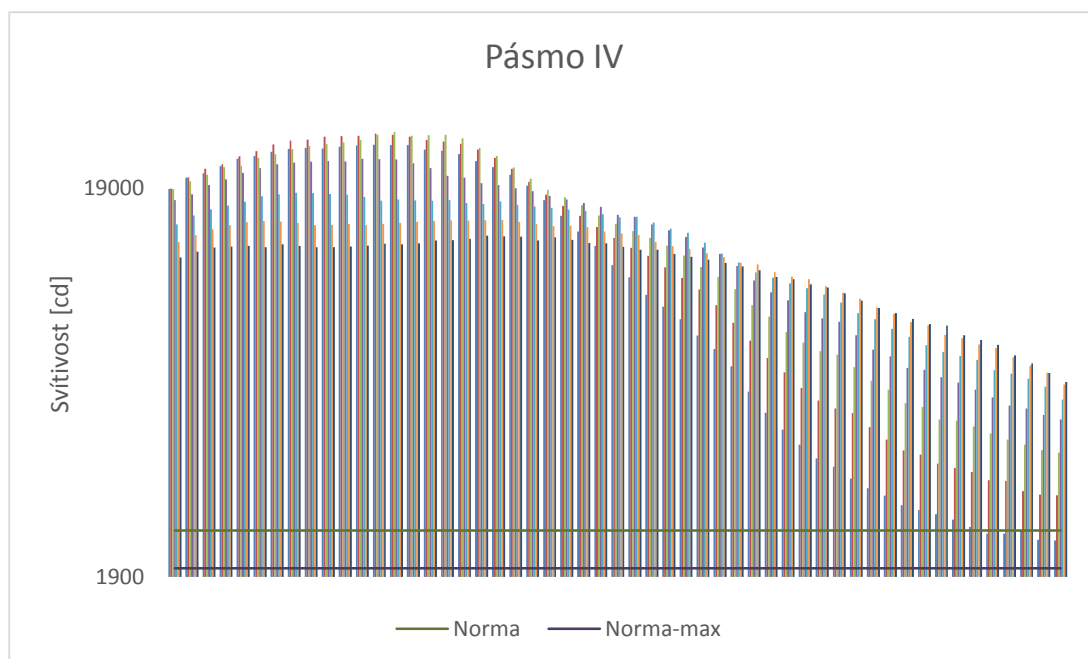
# PŘÍLOHY

## Příloha A. Vyhodnocení pásma III halogenového světloometu

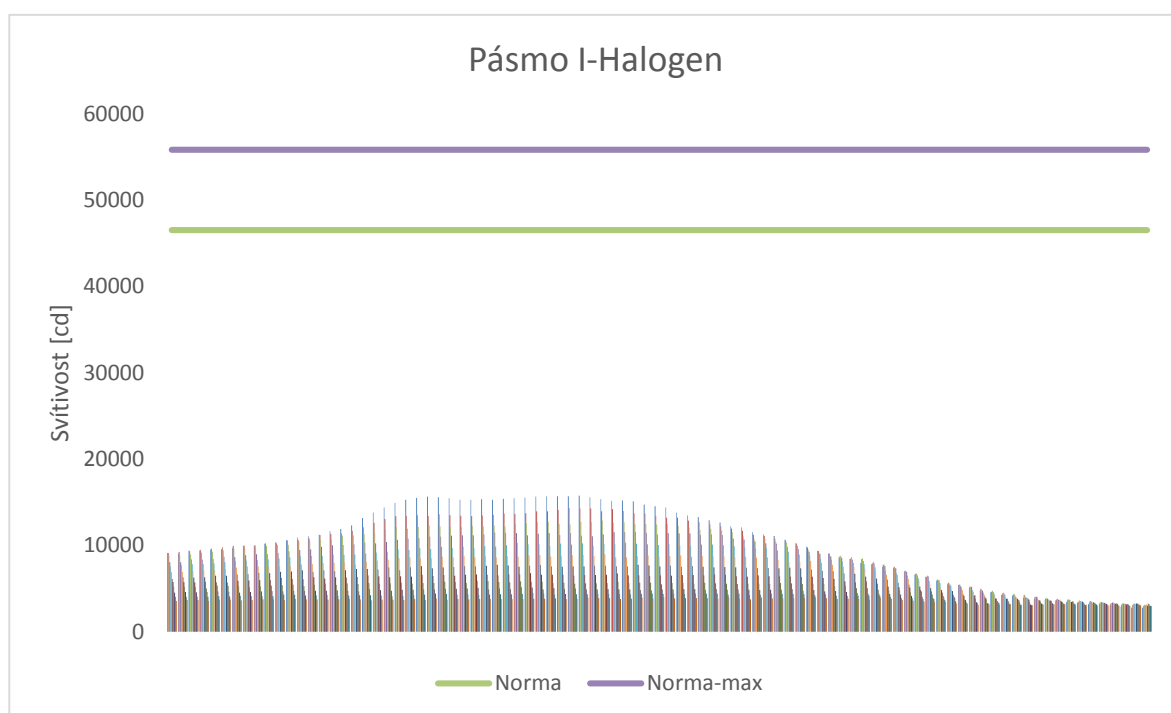




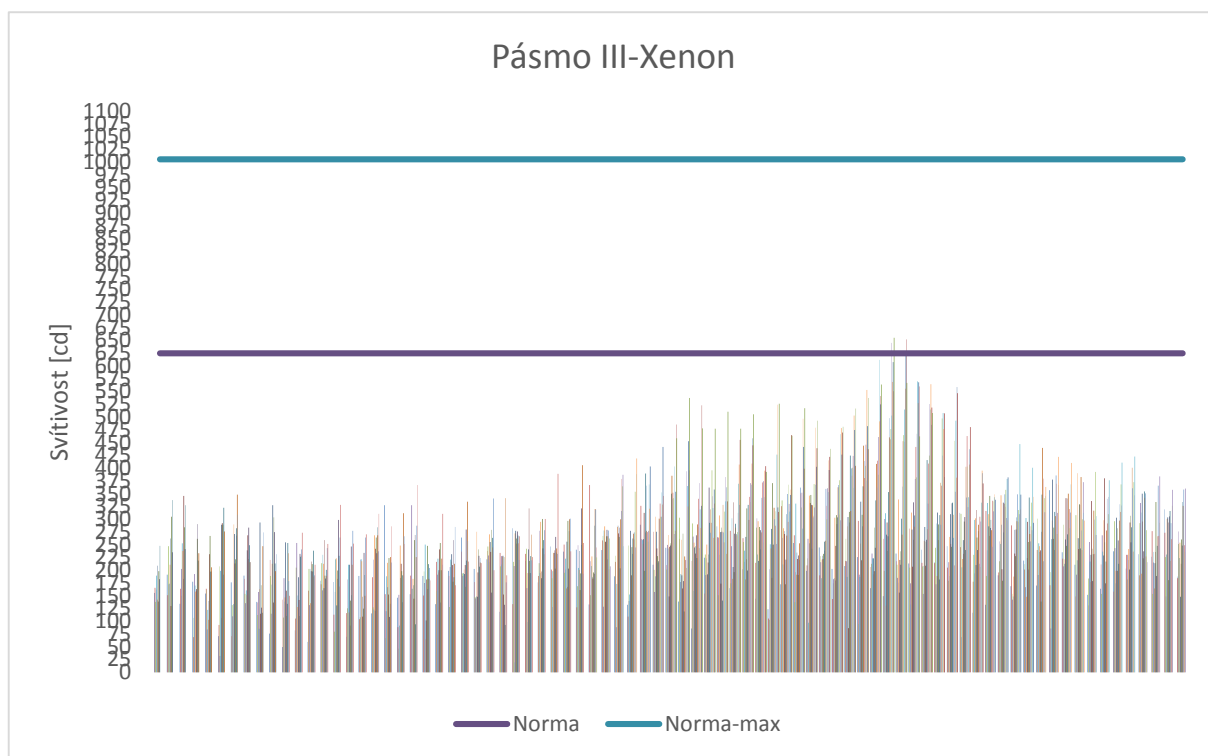
## Příloha B. Vyhodnocení pásma IV halogenového světlometu



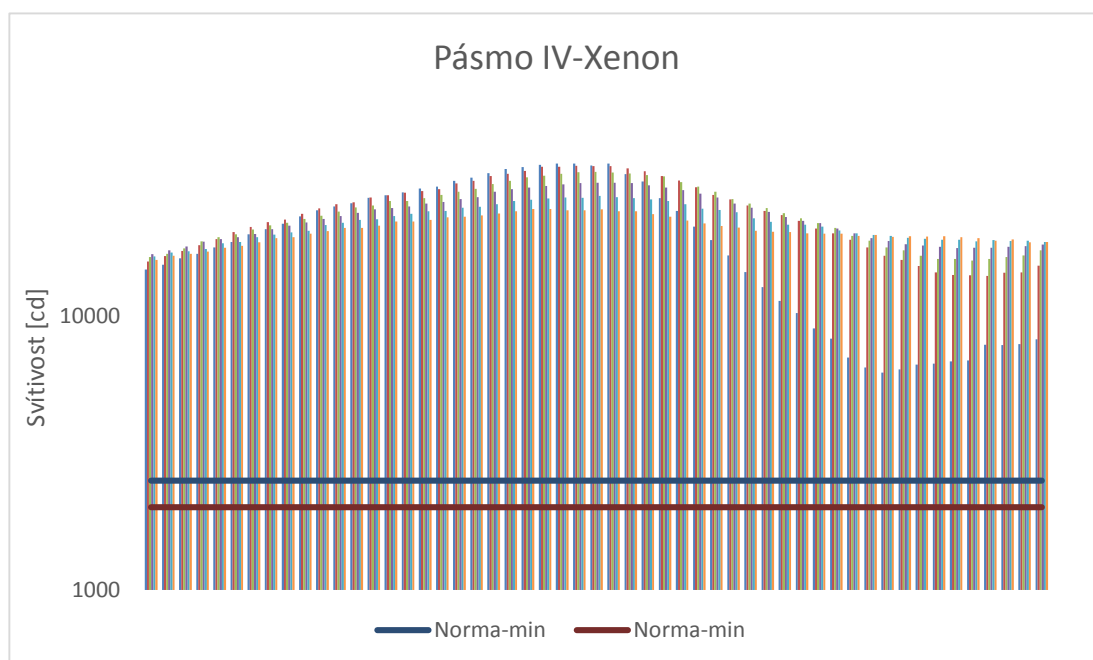
## Příloha C. Vyhodnocení pásma I halogenového světlometu



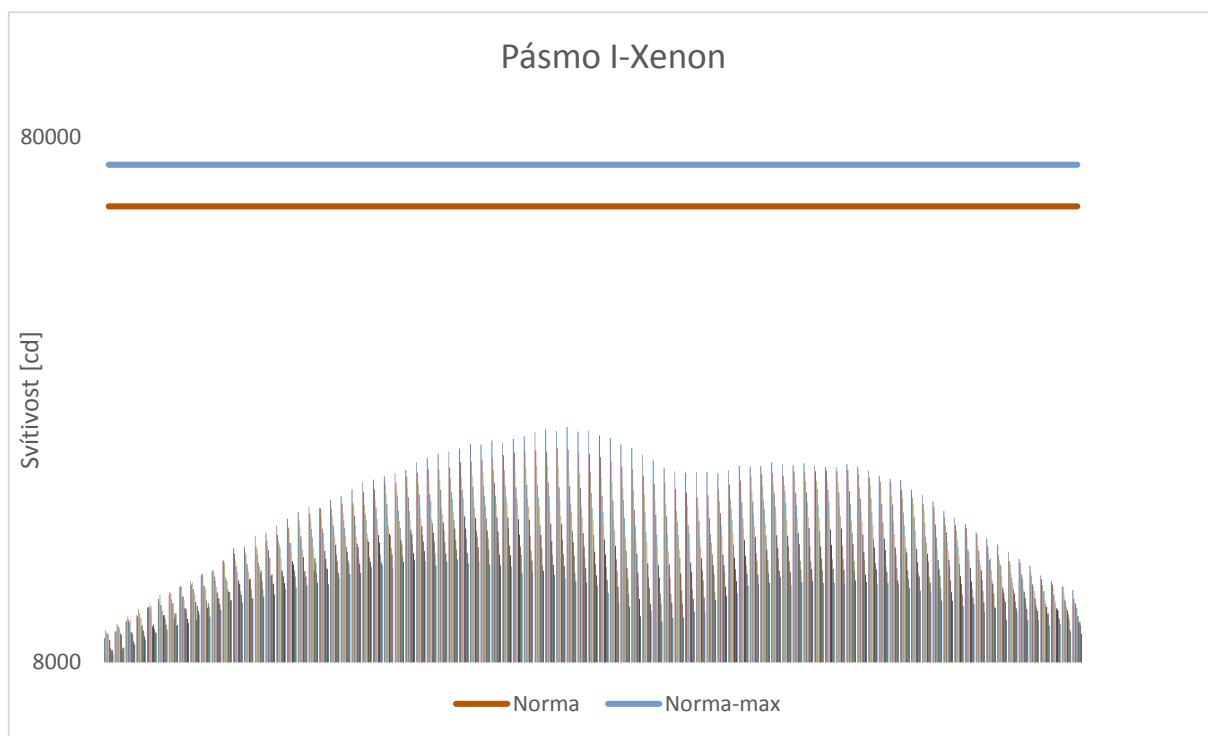
Příloha D. Vyhodnocení pásma III xenonového světlometu



Příloha E. Vyhodnocení pásma IV xenonového světlometu



Příloha F. Vyhodnocení pásma I xenonového světlometu



## Příloha G. Laboratorní úloha

Jméno, login:

Datum měření:

Další členové skupiny:

### Zadání:

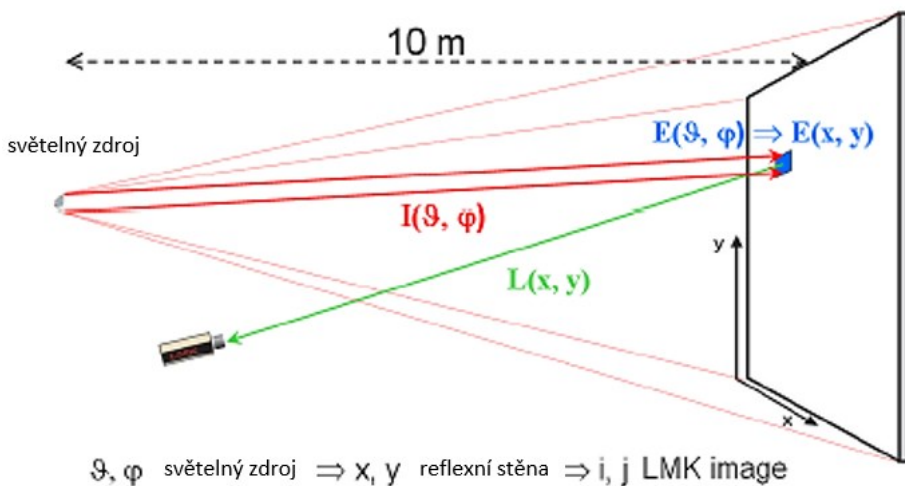
Změřte a vyhodnoťte světelné technické vlastnosti světlometu, využitím metody nepřímého měření jasů, pomocí digitálního jasového analyzátoru.

**Příprava na měření:** Seznamte se s předpisem R112.

### Teoretický rozbor:

Pokud je světlo vyzařeno z měřeného světelného zdroje na plochu za hraniční fotometrickou vzdáleností (vzdálenost alespoň 10krát větší než největší rozměr svítidla), světelný tok dopadající na tuto plochu vyvolá osvětlenost. Důsledkem je jas, který je možné prostorově vyjádřit a měřit. Z jasových map a znalosti geometrických vztahů (pozice světelného zdroje, odrazné plochy a kamery) dostaneme odpovídající svítivost a můžeme vypočítat křivky svítivosti. Protože výpočtu křivek svítivosti je dosaženo díky přidané odrazné ploše a též odvozením ze souřadnic jednotlivých světelných bodů na základě naměřených jasů, patří tato metoda k nepřímým měření křivek svítivosti. Výsledné jasové mapy obdržíme na základě dodatečných výpočtů počítající s úhlovou závislostí naměřených křivek svítivosti.

Obrázek 1 ukazuje princip měření na příkladu měření světlometu. Typická fotometrická vzdálenost v tomto případě je 10 metrů a více. Pro jiné aplikace, jako měření LED je tato vzdálenost přiměřeně kratší.



Obr. 1: Princip nepřímého měření LID

Osvětlenost v bodě lze vyjádřit jako funkci svítivosti úhlu a měřené vzdálenosti,

$$E_{A,\rho} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha}{r^2} \quad (1)$$

kde:  $E_{A,\rho}$  – osvětlenost (lx),  
 $I_\alpha$  – svítivost (cd),  
 $r$  – vzdálenost mezi svítidlem a odraznou plochou (m),  
 $\alpha$  – úhel vyzařování maximální svítivosti ( $^\circ$ ).

Osvětlenost můžeme vyjádřit i pomocí světlení, jak je vidět v následující rovnici:

$$E_{A,\rho} = \frac{M}{\rho} \Rightarrow \frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha}{r^2} = \frac{M}{\rho} \quad (2)$$

kde:  $M$  – světlení ( $\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  
 $\rho$  – koeficient odrazu (-).

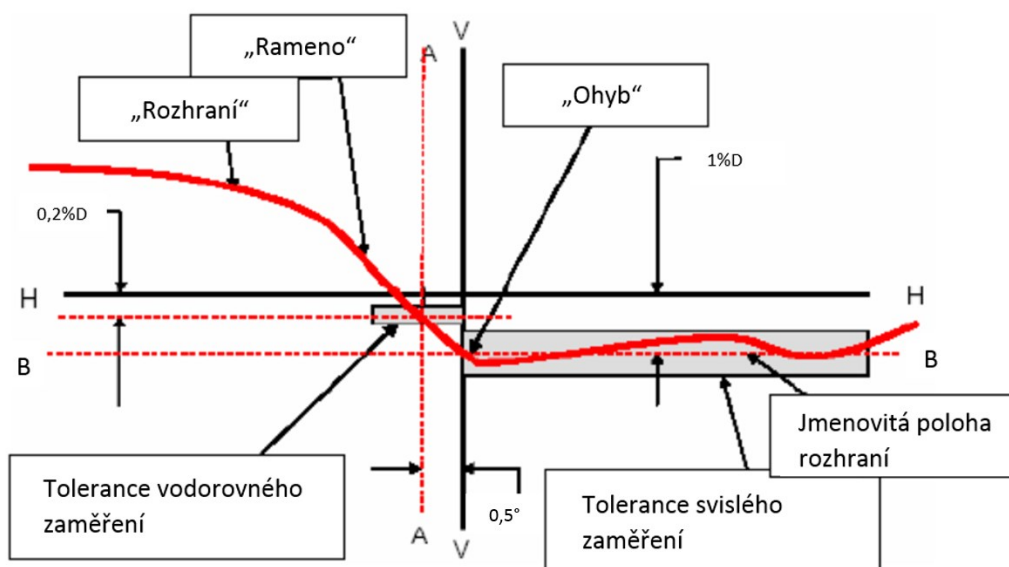
Úpravou vzorce a zanedbání kosinovy chyby získáme rovnici pro svítivost,

$$I = \frac{L \cdot \pi \cdot r^2}{\rho} \quad (3)$$

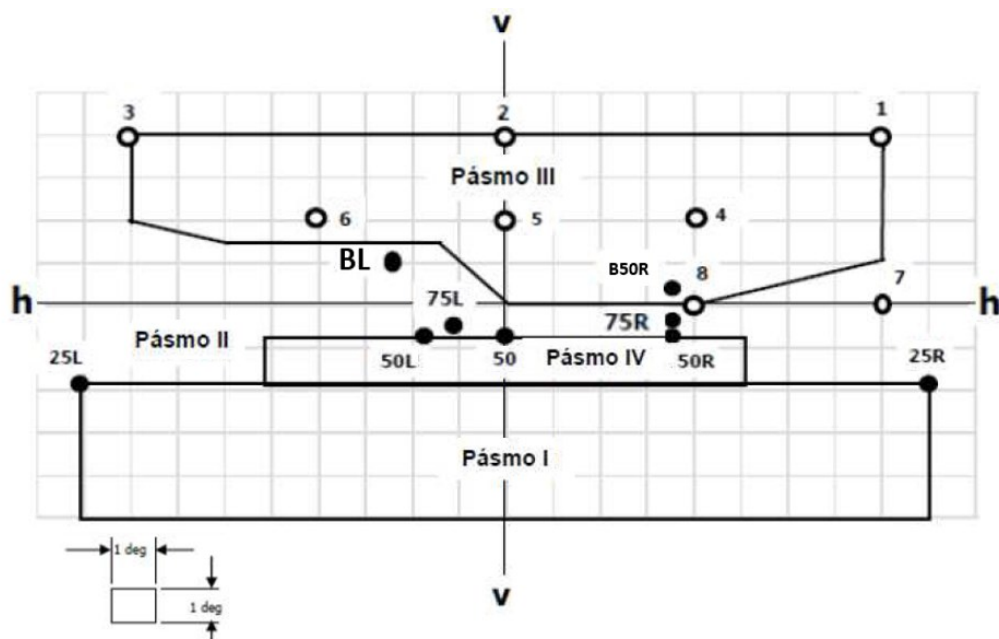
kde:  $I$  – svítivost (cd),  
 $r$  – vzdálenost mezi svítidlem a odraznou plochou (m),  
 $L$  – jas ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  
 $\rho$  – koeficient odrazu (-).

Podle rovnice 3 lze pak určit konstantu, kterou když vy-násobíme hodnotu jasu v pixelu (jasová mapa pořízená pomocí LMK Mobile Advanced) získáme svítivost pro izokandelový diagram.

Zaměření světlometu:



Obr. 2: Zaměření světlometu



Obr. 3: Body vyhodnocení

#### Postup měření:

- 1) Upevníme měřený světločet na tělo goniometru ve výšce 150cm (polovina výšky stěny).
- 2) Zapojíme příslušné napájecí kabely potkávacího světla ke stabilizovanému zdroji napájecího napětí a udržujte  $U=12V$ . (Pozor v případě měření xenonového světločtu na výskyt proudové špičky při startu světla; vhodně nastavíme proudové omezení).
- 3) Umístíme stativ pro jasový analyzátor v okolí měřeného světločtu, tak aby neomezoval výstupní světelný paprsek.
- 4) Nastavíme jasový analyzátor dle manuálu a upevníme na stativ.
- 5) Umístíme stínítko v poloze mezi měřicí stěnou a světločtem tak, aby horní hrana stínítka tvořila stín na měřicí stěně a omezovala tak odrazy světla ze země na měřicí stěnu.
- 6) Zaměříme horizontálně „ohyb“ doprostřed měřicí stěny.
- 7) Zatáhneme opony, vypneme veškerá světla kromě měřeného. Ujistíme se, že do místnosti nevniká žádné nežádoucí světlo.
- 8) Pohledem do objektivu nastavíme střed jasového analyzátoru do „ohybu“.
- 9) Volíme takové přiblížení aby jste byli schopni určit rozměry stěny, pro další kroky.
- 10) Vytvoříme snímky.

#### Postup vyhodnocení:

- 1) Překopírujeme vytvořený snímek do počítače.
- 2) Otevřeme program LMK LabSoft.
- 3) Vybereme kalibrační data.
- 4) Záložka Capture>Canon files nahrajeme vytvořené snímky jako sérii snímků.
- 5) Pomocí regionů si vyznačíme oblast vyhodnocení ( $\pm 15$  od přímky V-V a  $\pm 7,5$  od přímky H-H).
- 6) Vytvoříme nový snímek v poměru  $0,2^\circ/\text{pixel}$  (5px/stupeň).
- 7) Pomocí funkce „Projective rectification“ převedeme oblast regionu na nový snímek.
- 8) Pomocí regionu Line si vyznačíme křivky V-V, A, H-H, 0.2D a B.
- 9) Posunutím křivek zaměříme světločet dle normy. A zapíšeme si polohu v pixelech přímky V-V a H-H.

- 10) Exportujeme snímek v textovém formátu.
- 11) Otevřeme soubor Vyhodnoceni\_svetlometu.xlsx
- 12) Importujeme jasovou mapu do příslušného listu.
- 13) Zadáme v listu „souradnice“ polohu průsečíku VH z bodu 9.
- 14) V listu „vyhodnoceni“ porovnáme naměřené a požadované hodnoty.
- 15) Pro vyhodnocení pásem použijte sloupcové grafy

**Pozn.:** Výpočet probíhá na základě koeficientu odrazu 0,913

**Naměřené hodnoty:**

*Tab. 1: Naměřené hodnoty část 1*

<i>Světlomety pro levostranný provoz</i>		<b>Světlomet třídy B</b>		
<i>Označení zkušebního bodu</i>	Úhlové souřadnice zkušebního bodu [°]	Požadovaná		Naměřená
		Max	Min	
<i>B 50 R</i>	0,57U - 3,43 R	350		
<i>BL</i>	1,0U - 2,5 L	1750		
<i>75 L</i>	0,57D - 1,15L		10100	
<i>75 R</i>	0,57D - 3,43R	10600		
<i>50 R</i>	0,86D - 1,72R	13200		
<i>50 L</i>	0,86D - 1,72L		10100	
<i>50 V</i>	0,86D - 0		5100	
<i>25 R</i>	1,72D - 9,0R		1700	
<i>25 L</i>	1,72D - 9,0L		1700	
<i>kterýkoli bod v pásmu III</i>		625		
<i>kterýkoli bod v pásmu IV</i>			2500	
<i>kterýkoli bod v pásmu I</i>		<2I*		

*I\* aktuálně změřená hodnota v bodě 50 L*

*Tab. 2: Naměřené hodnoty část 2*

<i>Světlomety pro levostranný provoz</i>			
<i>Zkušební bod</i>	Úhlové souřadnice [°]	Požadovaná	Naměřená svítivost [cd]
		Min	
<i>I</i>	4U; 8R		

2	4U; 0	Body 1 + 2 + 3	
3	4U; 8L	190	
4	2U; 4R	Body 4 + 5 + 6	
5	2U; 0	375	
6	2U; 4L		
7	0; 8R	65	
8	0; 4R	125	

#### **Závěr:**

#### **Literatura:**

Kryštof, Tomáš. *Vyhodnocování parametrů automobilových světilen*, diplomová práce VŠB-TUO.2015.

E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.111/Rev.2.Předpis112:JEDNOTNÁ USTANOVENÍ PRO HOMOLOGACI SVĚTLOMETU MOTOROVÝCH VOZIDEL, KTERÉ VYZAŘUJÍ ASYMETRICKÉ POTKÁVACÍ SVĚTLO NEBO DÁLKOVÉ SVĚTLO NEBO OBOJÍ A KTERÉ JSOU VYBAVENY ŽÁROVKAMI A/NEBO LED MODULY. 2011.